



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Tema:

“Efectos de conducción ecológica (Ecodriving), en consumo de combustible y emisiones en vehículos livianos.”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AUTOMOTRIZ

Línea de Investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Antoni Steven Cabrera Chabla

DIRECTOR:

Ing. Zamir Andrés Mera Rosero, Ph.D.

Ibarra – Ecuador 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cabrera Chabla Antoni Steven
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Efectos de conducción ecológica (Ecodriving), en consumo de combustible y emisiones en vehículos livianos.
AUTOR:	Cabrera Chabla Antoni Steven
FECHA: DD/MM/AAAA	19/06/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Automotriz
DIRECTOR/ASESOR:	Ing. Zamir Andrés Mera Rosero, Ph. D./ Ing. Fredy Alexander Rosero Obando, Ph. D.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 19 días, del mes de junio de 2026

EL AUTOR:

Firma.....

Nombre: Antoni Steven Cabrera Chabla

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 19 de junio de 2026

Ing. Zamir Andrés Mera Rosero, Ph. D.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f)

Ing. Zamir Andrés Mera Rosero, Ph. D.

C.C.: 1003184478

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Efectos de conducción ecológica (Ecodriving), en consumo de combustible y emisiones en vehículos livianos.” elaborado por Antoni Steven Cabrera Chabla, previo a la obtención del título del Ingeniería Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):.....

Ing. Zamir Andrés Mera Rosero, Ph. D.

C.C.: 1003184478

(f):.....

Ing. Fredy Alexander Rosero Obando, Ph. D.

C.C.:1002641742

DEDICATORIA

A mi abuelo, Manuel Ch. por el apoyo incondicional y los consejos que me ha brindado durante mis estudios en la carrera que me ha gustado gracias a él y por enseñarme a ser responsable y perseverante ante las situaciones más difíciles que se presenten en la vida.

A mi novia, por su apoyo incondicional que me ha brindado en mi vida personal y universitaria, quien me apoyado en los momentos más difíciles y por ser el motor que me impulso a seguir adelante para culminar mis estudios.

A mis tíos/as, que están en la Ciudad de Biblián, Provincia del Cañar y en EE. UU., por su apoyo desde los inicios de mis estudios universitarios guiándome con sus consejos que fortalecieron mis estudios.

AGRADECIMIENTO

A las personas dentro de mi vinculo personal quienes me han apoyado hasta culminar mis estudios académicos.

A mi tutor de Tesis, Ing. Zamir Mera, por su dedicación, sus consejos y ser un guía excepcional, orientándome durante el proceso de mi trabajo, por compartir sus conocimientos. Su compromiso fue fundamental para la culminación de este trabajo.

A la Escuela de Conducción de la UTN, al Ing. Luis Alberto Acosta y el Abg. Segundo Vásquez, quienes me abrieron las puertas para realizar mi proyecto de titulación y me han brindado todas las facilidades para poder realizarlo.

A los instructores: Jostyn Diaz, Cesar Chilibingua y David Andrade de la Escuela de Conducción, quienes me han dado la mano en la parte práctica de mi proyecto.

A mis compañeros, por su amistad a lo largo de la carrera universitaria.

A la Universidad Técnica del Norte, por darme la oportunidad y abrirme las puertas, a los docentes de la Carrera de Ingeniería Automotriz, quienes han compartido sus conocimientos dentro de las aulas.

RESUMEN EJECUTIVO

Esta investigación analiza el impacto de la conducción ecológica (Ecodriving) en el consumo de combustible y emisiones de CO₂ en vehículos livianos, bajo condiciones de tráfico real en la ciudad de Ibarra. El estudio vincula el conocimiento teórico con el desempeño operativo entre conductores con formación en técnicas de conducción ecológica y conductores que aplican una conducción normal o convencional. Para ello se realizó un curso de Ecodriving cuyo impacto fue evaluado mediante encuestas antes y después la intervención, evidenciando una mejoría en el nivel de conocimiento sobre eficiencia en la conducción. Para el levantamiento de datos se implementó un sistema de adquisición de datos basado en el dispositivo ELM 327 OBD II, permitiendo el registro de variables como el consumo de combustible, velocidad, distancia recorrida, entre otros. La integración de estas herramientas permitió estimar el gasto energético en tres escenarios: Ibarra Norte (Ruta 1), Ibarra Centro Sur (Ruta 2) y Ibarra Centro (Ruta 3). Los resultados muestran que la aplicación de dichas técnicas permite las reducciones significativas en el consumo de combustible, las emisiones y el esfuerzo del motor, con ahorros de 6.42% en la Ruta 1, y un máximo de 9.87% en la Ruta 3. En la Ruta 2 el ahorro fue de 1.17% evidenciando que la congestión vehicular urbana, aunque limita el potencial, las técnicas son viables.

Finalmente, el análisis demuestra que el fortalecimiento de los conocimientos teóricos en conducción ecológica permite la reducción de emisiones, el ahorro de combustible y un menor esfuerzo del motor en entornos urbanos.

Palabras clave: Ecodriving, telemetría, Consumo de combustible, emisiones CO₂, eficiencia energética, condiciones de tráfico real, Manual de Conducción Ecológica.

ABSTRACT

This research analyzes the impact of eco-driving (Ecodriving) on fuel consumption and CO₂ emissions in a light vehicle under real traffic conditions in the city of Ibarra. The study links theoretical knowledge with operational performance between drivers trained in eco-driving techniques and drivers who apply normal or conventional driving. To this end, an Ecodriving course was conducted, and its impact was evaluated thru surveys before and after the intervention, showing an improvement in the level of knowledge about driving efficiency. For data collection, a data acquisition system based on the ELM 327 OBD II device was implemented, allowing the recording of variables such as fuel consumption, speed, distance traveled, among others. The integration of these tools allowed for the estimation of energy expenditure in three scenarios: Ibarra Norte (Zone 1), Ibarra Centro Sur (Zone 2), and Ibarra Centro (Zone 3). The results show that the application of these techniques allows for significant reductions in fuel consumption, emissions, and engine effort, with savings of 6.42% in Zone 1, and a maximum of 9.87% in Zone 3. In Zone 2, the savings were 1.17%, demonstrating that urban traffic congestion, although it limits potential, makes the techniques viable.

Finally, the analysis demonstrates that strengthening theoretical knowledge in eco-driving allows for the reduction of emissions, fuel savings, and less engine effort in urban environments.

Keywords: Ecodriving, telemetry, fuel consumption, CO₂ emissions, energy efficiency, real traffic conditions, Eco-Driving Manual.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	14
1.1. El problema.....	14
1.1.1. Antecedentes.....	14
1.1.2. Planteamiento del problema.....	15
1.2. Justificación	16
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Alcance	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	18
2.1 Impacto ambiental del transporte terrestre.....	18
2.2 Fundamentos de Conducción Ecológica (Ecodriving)	19
2.3 Operación del vehículo.	21
2.4 Fundamentos de consumo de combustible y generación de emisiones en vehículos livianos.	21
2.4.1 Combustible	21
2.4.1.1 Origen y problemática.....	21
2.4.1.2 Proceso de combustión y factores determinantes	22
2.4.2 Emisión de gases de CO ₂	24
2.5 Variables cinemáticas y dinámica longitudinal	25
2.5.1 Fuerza de resistencia a la rodadura	26
2.5.2 Resistencia aerodinámica.....	27
2.5.3 Resistencia por pendiente	28
2.5.4 Resistencia por inercia:	29
2.6 Tracción del Vehículo.....	29
2.6.1 Potencia.....	29
2.7 Tecnologías de monitoreo y adquisición de datos	30
2.7.1 Red de Área de Controlador	30
2.7.2 Diagnóstico a bordo segunda generación (OBD – II).....	31
2.7.3 Identificadores de parámetros de diagnóstico a bordo OBD – II.....	32

CAPITULO III METODOLOGÍA	33
3.1 Selección poblacional de estudio	34
3.1.1 Definición de grupos de estudiantes	34
3.2 Selección del vehículo	35
3.2.1 Configuración de carga y ocupantes	37
3.3 Selección de equipo y monitoreo de datos.....	38
3.3.1 Dispositivo de adquisición de datos.....	38
3.3.2 Parámetros de Monitoreo	40
3.4 Campaña Experimental.....	40
3.4.1 Ejecución de encuesta antes y después de la intervención educativa	40
3.4.2 Capacitación sobre Conducción Ecológica (Ecodriving)	41
3.4.3 Características de rutas de estudio.	42
3.4.3.1 Ruta 1: Ibarra Norte (Zona Urbana).....	42
3.4.3.2 Ruta 2: Ibarra Centro Sur (Zona Urbana)	42
3.4.3.3 Ruta 3: Ibarra Centro (Zona Urbana).....	43
3.5 Procesamiento y análisis de datos.....	44
3.5.1 Pre-Procesamiento de datos en Microsoft Excel	44
3.5.2 Procesamiento de datos en R Studio.....	45
3.5.3 Cálculo de consumo de combustible.....	45
3.5.3.1 Aceleración	45
3.5.3.2 Combustible	45
3.5.3.3 Transformación de tasa de flujo de combustible a masa de combustible	46
3.5.3.4 Consumo de combustible relativo.....	46
3.5.4 Potencia específica del vehículo	46
3.5.5 Estimación de emisiones de CO ₂	46
3.5.6 Modos de operación del vehículo.	47
CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS	48
4.1 Análisis de encuestas.	49
4.2 Análisis por rutas de estudio.....	50
4.2.1 Análisis de Consumo de Combustible	50
4.2.1.1 Análisis General.....	50

4.2.1.2	Consumo de combustible (Ruta 1: Ibarra Norte).....	51
4.2.1.3	Consumo de combustible (Ruta 2: Ibarra Centro Sur).....	53
4.2.1.4	Consumo de combustible (Ruta 3: Ibarra Centro)	54
4.2.2	Análisis de Factor de Emisión de CO ₂ y VSP	55
4.2.2.1	Análisis General.....	55
4.2.2.2	Factores de Emisión CO ₂ y VSP (Ruta 1: Ibarra Norte).....	57
4.2.2.3	Factores de Emisión CO ₂ y VSP (Ruta 2: Ibarra Centro Sur).....	58
4.2.2.4	Factores de Emisión CO ₂ y VSP (Ruta 3: Ibarra Centro)	59
4.2.3	Análisis de Modos de Operación	61
4.2.3.1	Análisis General.....	61
4.2.3.2	Modos de Operación (Ruta 1: Ibarra Norte).....	61
4.2.3.3	Modos de Operación (Ruta 2: Ibarra Centro Sur).....	62
4.2.3.4	Modos de Operación (Ruta 3: Ibarra Centro)	63
4.3	Promedios generales por grupo.....	64
CAPÍTULO V.....		65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		65
5.1	Conclusiones	65
5.2	Recomendaciones	66
ANEXOS		68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Planificación para la evaluación de los grupos: Ecodriving y Control.....	35
Tabla 2. Especificaciones técnicas del vehículo de prueba.	37
Tabla 3. Variables de recopilación mediante dispositivo ELM 327 OBD II.....	40
Tabla 4. Encuesta antes y después de Intervención Educativa	40
Tabla 5. Itinerario de Conducción Ruta 1.....	42
Tabla 6. Itinerario de Conducción Ruta 2.....	42
Tabla 7. Itinerario de Conducción Ruta 3.....	43
Tabla 8. Parámetros de velocidad y aceleración para clasificación de modos de operación.....	47
Tabla 9. Resumen global de distancia acumulada y tiempo para el monitoreo del vehículo.	50
Tabla 10: Variables grupo Ecodriving consumo de combustible (Ruta 1: Ibarra Norte)	52
Tabla 11: Variables grupo Control consumo de combustible (Ruta 1: Ibarra Norte).....	52
Tabla 12: Variables grupo Ecodriving consumo de combustible (Ruta 2: Ibarra Centro Sur).....	53
Tabla 13: Variables grupo Control consumo de combustible (Ruta 2: Ibarra Centro Sur)	53
Tabla 14: Variables grupo Ecodriving consumo de combustible (Ruta 3: Ibarra Centro)	54
Tabla 16: Variables grupo Ecodriving emisiones y VSP (Ruta 1: Ibarra Norte).....	57
Tabla 17: Variables grupo Control emisiones y VSP (Ruta 1: Ibarra Norte)	57
Tabla 18: Variables grupo Ecodriving emisiones y VSP (Ruta 2: Ibarra Centro Sur)	58
Tabla 19: Variables grupo Control emisiones y VSP (Ruta 2: Ibarra Centro Sur).....	59
Tabla 20: Variables grupo Ecodriving emisiones y VSP (Ruta 3: Ibarra Centro).....	60
Tabla 21: Variables grupo Control emisiones y VSP (Ruta 3: Ibarra Centro)	60
Tabla 22. Promedios de Modo de Operación (Ruta 1: Ibarra Norte).....	62
Tabla 23. Promedios de Modo de Operación (Ruta 2: Ibarra Centro Sur)	62
Tabla 24. Promedios de Modo de Operación (Ruta 3: Ibarra Centro).....	63
Tabla 25. Promedios de variables por grupo de estudio.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Emisiones de CO ₂ provocados por el uso de combustible en diferentes países.....	18
Figura 2. Objetivos de ventas de transporte de cero emisiones.	19
Figura 3. Consejos de Conducción Ecológica.	20
Figura 4. Arquitectura interna y proceso de combustión en motores de MEP y MEC.....	22
Figura 5. Diagrama de transporte de carretera.	23
Figura 6. Evolución de las emisiones de CO ₂ de vehículos nuevos.	24
Figura 7. Emisiones de GEI en Ecuador, (kton CO ₂ eq).....	24
Figura 8: Dinámica vehicular.....	25
Figura 9. Diagrama de cuerpo libre y fuerzas de un neumático.	26
Figura 10. Fuerzas y Momentos del vehículo.	27
Figura 11: Influencia del gradiente y la masa en la resistencia al ascenso.	28
Figura 12. Terminales de un conector de 16 pines OBD-II.	31
Figura 13. Identificadores de Parámetros del aplicativo Torque Pro.....	32
Figura 14. Marco metodológico del estudio	33
Figura 15. Escuela de Capacitación para Conductores Profesionales UTN	34
Figura 16. Vehículo utilizado para la fase experimental.	36
Figura 17. Dispositivo ELM327 OBD II.	38
Figura 18. Ubicación del puerto OBD-II del vehículo.	38
Figura 19. Verificación de operación del Interfaz OBD-II mediante el indicador LED.	39
Figura 20. Sincronización del dispositivo mediante el aplicativo Torque Pro.	39
Figura 21: Mapa de rutas en la ciudad de Ibarra.....	43
Figura 22: Diagrama de flujo de Procesamiento y Análisis de Datos	44
Figura 23. Comparativa porcentual de aciertos de los grupos en Conducción Ecológica antes y después de la intervención.	49
Figura 24. Consumo de Combustible por grupo y ruta de ensayo.....	51
Figura 25. Factor de Emisión de CO ₂ por grupo y ruta de Estudio.	55
Figura 26. VSP Medio por grupo y ruta de Estudio.	56
Figura 27. Modos de operación del vehículo por Grupo.	61

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. El problema

1.1.1. Antecedentes

En una investigación llevada a cabo en una flota de taxis, con una cilindrada igual a 1600 centímetros cúbicos, el cual realiza las técnicas de Ecodriving en siete vehículos que para la recolección de datos utilizaron un lector de computadora del vehículo, y con la aplicación Torque Pro. Las pruebas realizadas se desarrollaron durante tres meses, dos meses aplicando las técnicas de Ecodriving y un mes sin aplicar esta técnica. Alcanzando una eficiencia de combustible del 10.49%, estableciendo que el periodo óptimo para aplicar estas técnicas es entre las 18h00 y las 23h00 [1].

En un estudio realizado en la Ciudad de Quito, por el incremento del precio de combustible en el país y la contaminación ambiental ha sido factores de investigación para economizar los recursos energéticos, por lo que las pruebas se realizan en una avenida principal de la ciudad por el flujo de tráfico denso en sentido norte-sur y viceversa, mediante la utilización de equipos de recolección de datos (datalogger Arduino) en base al escáner automotriz ELM 327. Los resultados muestran un ahorro de combustible del 18.94% con lo que el conductor economiza \$1.41 por cada 100 km en tráfico, y sin tráfico hasta \$2.83 por cada 100 km en la ruta antes mencionada [2].

En estudios realizados con respecto a la conducción ecológica se dice que se puede utilizar algoritmos para un desafío que es disminuir las interrupciones de tráfico real provocados por señales de tráfico en zonas urbanas, en un periodo prolongado. Para optimizar un mejor rendimiento en el estudio se consideró varios aspectos como la energía, seguridad, comodidad y eficiencia de conducción. Los resultados muestran que Actor-Crítico Suave (sus siglas en inglés SAC) que es que maximiza la entropía de la política además del rendimiento esperado y Gradiente de Política Determinista Profundo (sus siglas en inglés DDPG), que básicamente es una red neuronal profunda para representar al actor y al crítico tienen el mejor rendimiento general [3].

Chee Pin Tan, M.A.S. Kamal, A.S.M. Bakibillah, Tomohisa Hayakawa y Jun-ichi Imura en la investigación realizada donde ellos dicen que las emisiones y el consumo de combustibles tienen que ver con los comportamientos de conducción en carretera, especialmente en curvas horizontales y las condiciones de superficie, por lo que generalmente se aplica el freno y el acelerador por lo que tiene un adicional consumo de combustible y emisiones. Ellos proponen un esquema

utilizando un control predictivo de modelos no lineales (sus siglas en inglés NMPC) y el EDS. Al final se obtuvo resultados en simulaciones de tráfico microscópicas en tráfico real, descubriendo que el EDS propuesto reduce sustancialmente las emisiones de carbono y el consumo de combustible en comparación con el Sistema de Conducción Tradicional (sus siglas en inglés TDS), lo que se puede emplear como un Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (sus siglas en inglés ADAS) [4].

Yang Yu, Xiaobo Qub nos muestra un estudio donde se propone un método de calibración en conjunto con el Algoritmo Genético (AG) modificado que permite que los modelos de seguimiento de automóviles controlen o simulen vehículos de una manera de conducción ecológica. Los resultados obtenidos pueden aliviar las perturbaciones y oscilaciones del tráfico con más efectividad. El modelo de Diferencia de Velocidad Completa confinada (sus siglas en inglés c-FVD) calibrados en diez pruebas realizadas dan un resultado promedio de mejora de combustible del 11.73% mientras que el Modelo de Conductor Inteligente (sus siglas en inglés IDM) calibrados de igual manera realizadas en diez pruebas dan un resultado promedio de mejora de combustible del 12.29% [5].

El análisis realizado de niveles de Dióxido de Carbono (CO₂) de vehículos nuevos de pasajeros en Europa mostraron el cumplimiento del Procedimiento de Ensayo de Vehículos Ligeros Armonizados a Nivel Mundial (WLTP), con base a datos preliminares de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), mostrando 10.7 millones de automóviles de pasajeros nuevos vendidos en Europa en 2023, dando el promedio general de emisiones de 107 g/km, en vehículos ligeros armonizados y la disminución de 1g/km de CO₂ que las emisiones promedio en 2022, dando como un resultado óptimo del desempeño de los fabricantes en relación con la reducción emisiones [6].

1.1.2. Planteamiento del problema

A nivel mundial, el responsable del consumo de petróleo, el 25% son los automóviles y furgonetas, dando así también un 10% de gases de Dióxido de Carbono (CO₂), pero a medida que hay mejoras en motores convencionales y vehículos que han adoptado la hibridación se redujeron a una media del 1.3% en el consumo específico de combustible anuales entre 2003 y 2015 [7]. En la Unión Europea, están implementado estrategias para vehículos de nuevos pasajeros que para el 2035 tengan cero emisiones de CO₂ [8]. En el transcurso de los años, En Ecuador, el parque automotor ha tenido un incremento significativo, por ello, el aumento y la demanda de los combustibles fósiles han sido los mayores requerimientos energéticos. La gasolina y el diésel son la mayor

demanda del país para su producción, por lo cual, en 2023, incremento en un 32.5% y 27.5% respectivamente [9]. Aunque hay iniciativas de utilizar combustibles alternativos para mejorar la eficiencia de los vehículos y reduciendo así el consumo de combustible fósiles. La economía de nuestro país depende del combustible fósil y por las fluctuaciones en el mercado mundial.

El Ecodriving o Conducción Ecológica surge como una nueva estrategia eficiente y sostenible para minimizar factores que influyen en el consumo y las emisiones con una estimación de ahorro del 5% a un 20%, en un contexto experimental [10]. La conducción ecológica incluye estrategias como el mantenimiento preventivo del vehículo, la elección de rutas eficientes, aceleración, anticipar el flujo de tráfico, entre otras estrategias que influye en el consumo y emisiones. Los hábitos de conducción normal son un factor determinante en las emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible, por la falta de conocimientos e instrucciones de una conducción ecológica, que afectan al impacto medioambiental del transporte. Por ello las técnicas de conducción ecológica reducen significativamente las emisiones de gases contaminantes y el consumo de combustible.

1.2. Justificación

La creciente demanda global de recursos energéticos y el impacto ambiental de los gases efecto invernadero, han tenido relevancia por lo que se han buscado nuevas estrategias de economizar los recursos energéticos y reducir las emisiones de gases contaminantes, una de ellas es la adopción de conducción ecológica. La Organización Mundial de la Salud (OMS) dice que la contaminación del aire causa malestar en salud, lo que puede provocar enfermedades y progresivamente la muerte. Solo en el año 2012 causó la muerte de 7 millones de personas en el mundo [11].

En el presente proyecto, se realiza con el fin de dar a conocer la eficiencia que tiene una conducción ecológica en zonas urbanas en tráfico real para disminuir el impacto medioambiental que genera el transporte. En nuestro medio, el conocimiento sobre estas estrategias de conducción ecológica es escaso, pero la demanda de vehículos en el país crece periódicamente por lo que se necesita más combustible fósiles, y a la vez incrementa la generación de gases contaminantes.

Aborda unos amplios beneficios al poner en práctica esta estrategia económica. La conducción ecológica alcanza los objetivos principales como la mejora del estilo de conducción, la reducción de consumo de combustible y la disminución considerable de emisiones de gases, optimizando los recursos energéticos ahorrando costos adicionales, así como el precio del combustible además de ello, prolongando la vida útil del vehículo [12]. Además, la estrategia para economizar los puntos antes establecidos, al mostrar resultados que tengan interés para campañas educativas y

capacitaciones, que adopten estas prácticas dentro de nuestro medio, contribuyendo a la sostenibilidad de los vehículos. Es fundamental para promover cambios en los hábitos de conducción contribuyendo a políticas internacionales como las Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en específico la ODS 7 (Energía Asequible y No Contaminante).

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

- Analizar los efectos de la conducción ecológica (Ecodriving) en el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ en vehículos livianos.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Implementar un sistema de medición y almacenamiento de consumo de combustible, dinámica vehicular y condiciones de operación del motor.
- Realizar la campaña experimental en vehículos livianos.
- Analizar la información obtenida para generar factores de emisión y consumo de combustible.
- Generar un manual de conducción eficiente.

1.4. Alcance

En el presente trabajo se analizará los efectos de una conducción ecológica en pruebas controladas, implementado un sistema de medición para la adquisición de datos en tiempo real del consumo de combustible, las condiciones de operación del motor y la dinámica vehicular. Se selecciona vehículos livianos para la adaptación de los implementos de adquisición de datos. El implemento de para la recolección de datos (datalogger) se utilizará el denominado dispositivo ELM327 OBD II. Las rutas experimentales en zonas urbanas de la ciudad de Ibarra, para la comparación entre una conducción normal y conducción ecológica. El procesamiento y análisis de los datos obtenidos del vehículo en cada tipo de conducción antes mencionado.

Elaboración de un manual práctico sobre las técnicas de Ecodriving, que oriente a los conductores a la aplicación de estas, incluyendo recomendaciones para distintos escenarios de conducción y mantenimiento vehicular.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Impacto ambiental del transporte terrestre

El cambio climático, ha sido un problema a través de los años, por la insostenibilidad de la energía, afectando a muchos factores meteorológicos en muchas regiones del mundo, por tal razón se requiere de transición del sistema energético [13]. Los vehículos de uso medio han sido los protagonistas del cambio climático y la contaminación, por ello la humanidad ha tenido varios desafíos para disminuir estos factores, de una forma u otra. Aunque se intenta progresivamente ingresar al parque automotor vehículos eléctricos, los vehículos de Motor de Combustión Interna (MCI), siguen siendo una opción común para las personas [14].

Los MCI tienen un efecto negativo en la salud de las personas por la calidad de aire que es provocado por los gases de escape. Entre las emisiones más nocivas tenemos el Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Hidrocarburos (HC), el Material Particulado (PM, por sus siglas en inglés), producto de la condensación de hidrocarburos (HC), el PM_{2.5}. La exposición de los contaminantes puede provocar la muerte prematura por enfermedades pulmonares como el cáncer de pulmón como se muestra en la figura 1 [15].

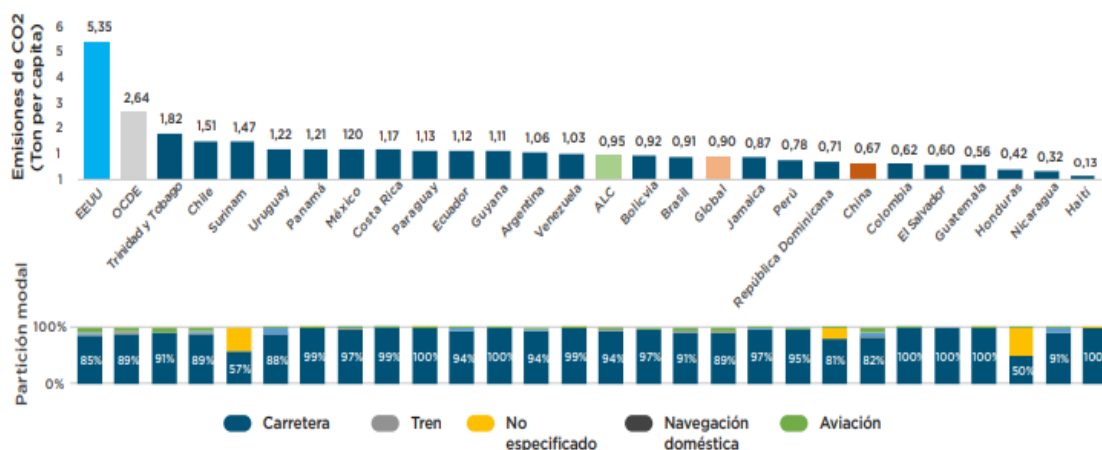


Figura 1. Emisiones de CO₂ provocados por el uso de combustible en diferentes países.

(Calatayud et al., 2023)

El transporte terrestre influye directamente en el uso de combustibles fósiles y en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), por ello en 2022, ha generado 5.87 gigatoneladas de emisiones de CO₂ en todo el mundo [16]. El aumento en la emisión de GEI, la generación de CO₂, fue de 1.06 mil millones de toneladas en 2016 [17]. La producción y el consumo de combustibles fósiles

son lo que generan metano en gran masa. En 2023 se generaron 120 millones de toneladas de emisiones de metano [18]. Por esta razón, la industria automotriz ha estado en constante evolución, buscando incorporar avances tecnológicos que contribuyan a reducir los factores que afectan negativamente al medio ambiente. Ejemplos de estas innovaciones incluyen el uso de sistemas avanzados en los vehículos, como sensores, actuadores y, más recientemente, la implementación de vehículos eléctricos [19].

Varios países de Latinoamérica han establecido objetivos de manera indirecta para vehículos de cero emisiones como se muestra en la figura 2 como lo es Ecuador, que propone un objetivo que establece para el 2025, todos los vehículos deberán ser eléctricos, Colombia propone las ventas de autobuses en un 10% para el 2025 y el 100% para el 2035 [20].

En Chile, los objetivos planteados para la sostenibilidad de la energía es para el 2035, los vehículos a la venta serán de cero emisiones y vehículos de carga pesado y de pasajeros (autobuses) para el 2045, se espera el 100% de cada una de ellas [21].

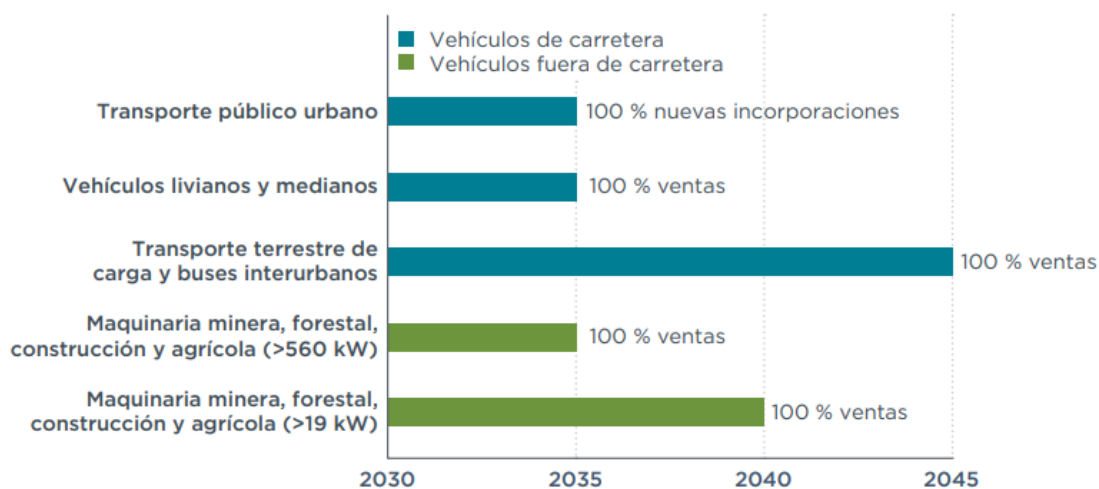


Figura 2. Objetivos de ventas de transporte de cero emisiones.

(Pettigrew, 2022)

2.2 Fundamentos de Conducción Ecológica (Ecodriving)

El comportamiento del vehículo implica la manera de conducción que tiene la persona y de las decisiones que toma al estar detrás del volante, por ello influyen en una conducción más suave o limitada, en el impacto de las emisiones de GEI dependiendo del tipo de conducción u otros contaminantes (ruido, polvo), las reacciones de las personas que están en otros vehículos [22].

La Escuela de Conducción de Suecia acuñó el concepto de “Conducción Ecológica” o como su nombre en inglés “Ecodriving”, en 1998 [23]. Se refiere al funcionamiento del vehículo que reduce

el consumo de energía, para ser más cauteloso con el medio ambiente [24]. Son una serie de técnicas de conducción en vehículos de carretera que son aplicadas para reducir notablemente el consumo de combustible y las emisiones de gases que emanan del motor efecto de la combustión, mejorando las técnicas de conducción y el fortalecimiento de la seguridad vial [25].

La contaminación del medio ambiente se vuelve preocupante en toda la sociedad, la conducción ecológica surge como una iniciativa para disminuir el impacto ambiental. En zonas urbanas, los vehículos aceleran en zonas específicas y se detienen en intersecciones como son los semáforos o en pasos peatonales para dar la preferencia a personas, lo cual hace un consumo de energía excesivo [26].

La conducción ecológica implica acciones mediante la conducción como: presionar de forma progresiva el pedal del acelerador, cambio de marcha dentro de un rango de 2000 y 2500 revoluciones para los vehículos de combustible gasolina y de 1000 a 1500 para vehículos de combustible diésel que integran una transmisión manual, evitar paradas y arranques repentinos manteniéndose en rango de conducción uniforme, limitarse a velocidades establecidos o por debajo de ella, que sean de las permitidas en la zona y tiempos cortos en ralentí [27].

También implica decisiones estratégicas como en el mantenimiento del vehículo (motor, presión de inflado de los neumáticos, niveles nominales de fluidos, etc.), selección de carga de vehículo y rutas, limitación del uso de energía como lo es la radio a alto volumen y aire acondicionado, limitar la carga colocando lo necesario en el maletero [28]. En la figura 3 se muestra consejos de cómo cuidar el medio ambiente mediante una conducción ecológica. [29].



Figura 3. Consejos de Conducción Ecológica.

(GEOTAB, 2024)

Los efectos de una conducción ecológica en MCI, reduce en un 15%–25% en el consumo de combustible, a diferencia de otros tipos como los Vehículo Híbrido (VH), que se puede alcanzar el 50% o los Vehículos Eléctricos (VE), puede alcanzar en un 25% en el consumo de energía [30]. Otros factores que contribuyen a una conducción ecológica son: verificación de apriete del Tapón de combustible y fugas en el tanque del combustible, cambio de filtros (aceite, combustible y aire), según a las especificaciones dadas por el fabricante, utilizar aceites de marcas verificadas por las entidades de control (API, SAE ILSAC, ASTM, entre otros.) para que las propiedades físicas y químicas no interfieran en las operaciones dentro del motor.

2.3 Operación del vehículo.

El vehículo se puede definir como un medio para el traslado de un lugar a otro de personas o cosas. También es conocido como automóvil, que significa desde un punto técnico, que se mueve por sí mismo y se atribuye a vehículos que desplazan mediante la fuerza proporcionada por un motor. Por ello para poder desplazarse necesita de la atribución de una serie sistemas mecánicos [31].

Su propulsión ha ido evolucionando a través de los años, en sus inicios el vehículo era impulsado a vapor por el principio de funcionamiento de la quema de combustible (carbón o leña) para la ebullición de agua y aprovechar la presión generada.

En años posteriores, se ha utilizado los combustibles fósiles como un comburente para aprovechar la energía térmica liberada en el proceso de combustión que realiza el motor. Debido a las nuevas tecnologías se ha ido incorporando vehículos utilizan energía eléctrica como sistema de propulsión que se suministra mediante baterías que admiten varios ciclos de carga y descarga [32].

2.4 Fundamentos de consumo de combustible y generación de emisiones en vehículos livianos.

2.4.1 Combustible

2.4.1.1 Origen y problemática

El fluido producido a partir de los yacimientos de petróleo puede ser petróleo crudo (una mezcla de hidrocarburos ligeros y pesados y betún) o líquidos de gas natural, que realizan la destilación fraccionada para extraer el combustible. Esta operación se realiza en varias partes del mundo [33]. El parque automotor consume alrededor del 20% de la energía a nivel mundial, por lo que se tiene previsto para 2030, aumentaran a más del 50%, por el incremento económico y demográfico [34].

Por ello, el precio del combustible ha sido de las mayores problemáticas a nivel mundial. Los servicios energéticos, está aumentando con rapidez, pero lo que se espera a finales de esta década, es que la economía creciese sin consumir más petróleo, gas natural o carbón [35].

En Ecuador, los precios de combustibles es un problema, puesto que la economía que atraviesa el país, muchos de ellos deciden prefieren transportarse en por otros medios que en sus propios vehículos. Los precios de gasolina Extra/Eco País y Super han aumentado a comparación del año 2018, que el precio por galón estaba en \$1.85 y \$3.10 respectivamente, pero los precios aumentaron de acuerdo a Petroecuador a octubre de 2025, en el sector automotriz \$2.72 y \$3.55 respectivamente [36], puesto que el precio ha ido en varianza hasta la actualidad de acuerdo a los precios de petróleo en el mercado Internacional.

2.4.1.2 Proceso de combustión y factores determinantes

El combustible puede someterse a varios tipos de inyección antes de su combustión en la cámara, mezclándose con el aire que es aspirado por el colector de admisión, para ingresar al cilindro. La mezcla de aire/combustible, una mezcla homogénea que puede combustionar mediante un sistema de encendido que genera una chispa en la bujía en Motores de Encendido Provocado (MEP), o auto encenderse por compresión debido a las altas temperaturas dentro de la cámara en Motores de Encendido por Compresión (MEC) [37].

Dado que el movimiento del vehículo es producido por el motor, la liberación de energía a través de la quema de combustible genera la presión necesaria sobre el pistón para transformar en trabajo mecánico. En la figura 4 se puede observar los componentes internos que intervienen en el proceso de combustión para generar trabajo mecánico [38].

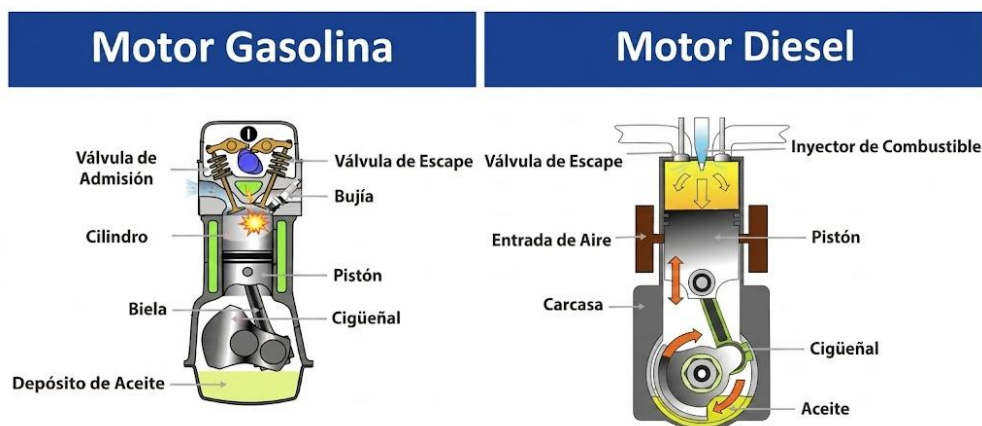


Figura 4. Arquitectura interna y proceso de combustión en motores de MEP y MEC.

(Bison, 2023)

Las emisiones de gases de escape en el transporte de carretera se generan principalmente por la combustión de combustibles como el diésel, gasolina, gas licuado de petróleo y gas natural [39], a lo cual intervienen factores relacionados con el diseño del vehículo, condiciones de carretera, hábitos de conducción y el mantenimiento. Estos elementos son factores determinantes en la eficiencia energética ya que, como se muestra en la figura 5, la energía liberada genera trabajo mecánico para el desplazamiento de carga o pasajeros, proceso que conlleva a impactos ambientales y efectos colaterales.

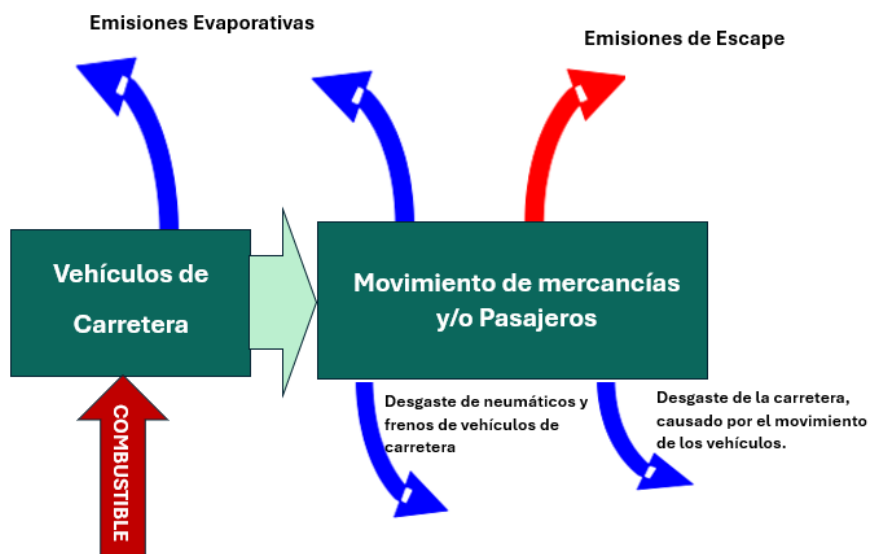


Figura 5. Diagrama de transporte de carretera.

(Leonidas Ntziachristos & Zissis Samaras, 2019)

Debido al alto consumo de energético, se han establecido normas y estrategias para reducirlo. Esta problemática viene dada desde décadas atrás, como en el caso de Estados Unidos, que redujeron el consumo energético al poner leyes de límites de velocidad, logrando así la reducción del 2.2% en el consumo de combustible y por ende las emisiones de gases en el año 1976 [40].

El consumo de combustible también es asociado con factores del vehículo como la masa del vehículo y la potencia, pero a su vez también por los regímenes del motor según el tipo de conducción, que pueden ser monitoreados la implementación de escáner que muestran datos en tiempo real.

2.4.2 Emisión de gases de CO₂

En Europa, el transporte de carretera genera el principal gas del efecto invernadero que es dióxido de carbono, el 75% lo genera los vehículos de pasajeros [41]. En la figura 6 se puede observar cómo los vehículos nuevos han ido evolucionando las emisiones de CO₂, reduciendo en la generación de gases de escape a través de los años.

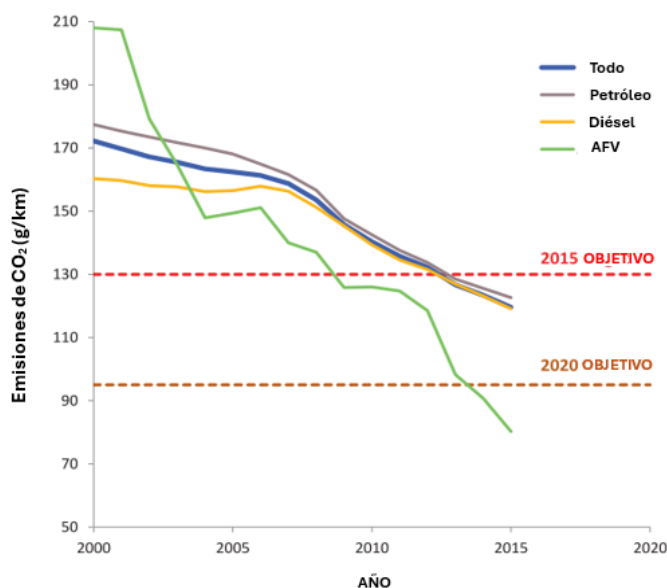


Figura 6. Evolución de las emisiones de CO₂ de vehículos nuevos.

(Fontaras et al., 2017)

En Ecuador, los GEI en el periodo 2009-2019, incrementó en un 19.7% debido al incremento de energía. Las disminuciones de GEI desde 2014, por el uso de las nuevas tecnologías que se adaptaron en el ámbito industrial [42]. La siguiente figura 7 muestra las emisiones que se han generado hasta el 2019.

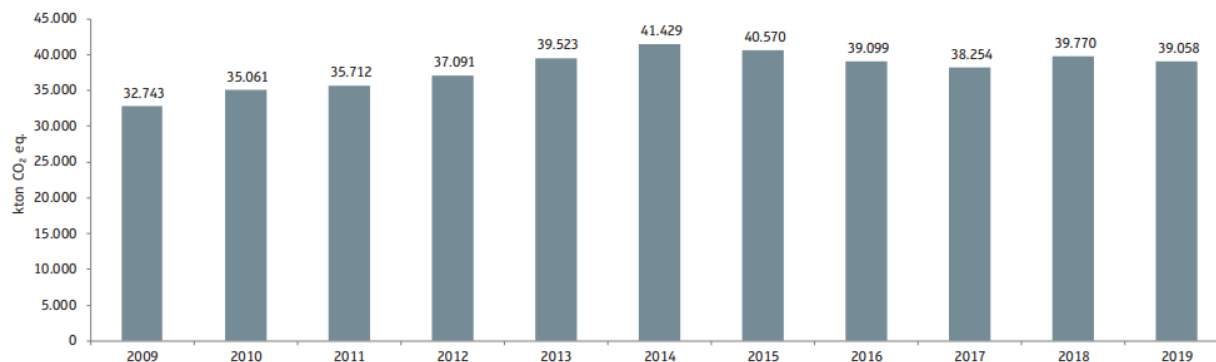


Figura 7. Emisiones de GEI en Ecuador, (kton CO₂ eq.).

(Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE, 2019)

Las emisiones de CO_2 se generan por la combustión, porque se oxida el carbono del combustible, pero no todo se oxida en condición real por lo que libera pequeñas proporciones en metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), compuestos volátiles distintos al metano por la combustión incompleta [43]. En correlación con el consumo de combustible, las emisiones de gases provocada por la quema del combustible utilizado para generar energía para realizar un trabajo, es el causante del cambio climático y el GEI. Por la creciente actividades de conducción se generan emisiones de gases, como el CO_2 , CO , NO_x , HC , entre otros [44].

Por ello, en la mayoría de los países, se establecen normativas que regulan los niveles de emisiones contaminantes que un motor puede emitir en su funcionalidad. En el contexto local, según el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), establece la norma NTE INEN 2204 los límites permitidos de emisiones contaminantes que son producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina durante su funcionamiento en condiciones de marcha mínima o ralenti y temperatura operacional del motor [45].

2.5 Variables cinemáticas y dinámica longitudinal

El vehículo, durante su movimiento, describe una trayectoria, donde su posición cambia respecto al tiempo. Además, está sometido a fuerzas que interfieren directamente en el consumo de combustible que, de acuerdo con la zona demográfica y condiciones de tráfico por el cual circula el vehículo, este se puede ver afectado. Por ello se puede hacer análisis sobre la dinámica longitudinal, considerando factores de ciclos de conducción, estableciendo el consumo de combustible, las emisiones de gases y el sistema de propulsión [46].

El requerimiento de energía para que el vehículo pueda desplazarse de un punto a otro se cuantifica de acuerdo con las fuerzas que soportan el vehículo. Como se muestra en la figura 8, el análisis de las fuerzas surge el concepto de fuerza de tracción [47].

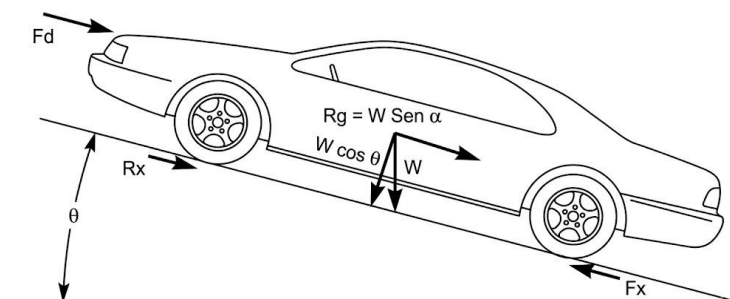


Figura 8: Dinámica vehicular.

(Carlos Tapia et al., 2017)

Por lo tanto, la fuerza de tracción se puede definir como la fuerza propulsora para que exista movimiento [48]. Por ello se puede cuantificar con la siguiente expresión:

$$F_X = F_R + F_A + F_P + F_I \quad \text{Ec. (1)}$$

F_X = Fuerza de Tracción (N)

F_R = Fuerza de resistencia a la rodadura (N)

F_A = Fuerza de resistencia aerodinámica (N)

F_P = Fuerza de resistencia por pendiente (N)

F_I = Fuerza de resistencia por la Inercia (N)

2.5.1 Fuerza de resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura es un factor determinante en la interacción entre el neumático y la superficie de carretera. Este fenómeno incide directamente en la eficiencia energética del vehículo, las emisiones contaminantes y el desempeño operativo, afectando variables críticas como la autonomía de conducción [49]. Cuando el neumático rueda sobre una superficie y es sometido a una carga vertical, en este caso la masa del vehículo genera fricción en la zona de contacto neumático/suelo, lo que genera una pérdida de energía [50]. Asimismo, una resistencia elevada provoca un incremento en la temperatura térmica del compuesto, lo cual acelera el proceso de degradación prematura y reduce significativamente la vida útil del neumático. Las fuerzas que actúan durante la rodadura se muestran en la siguiente figura 9 [51].

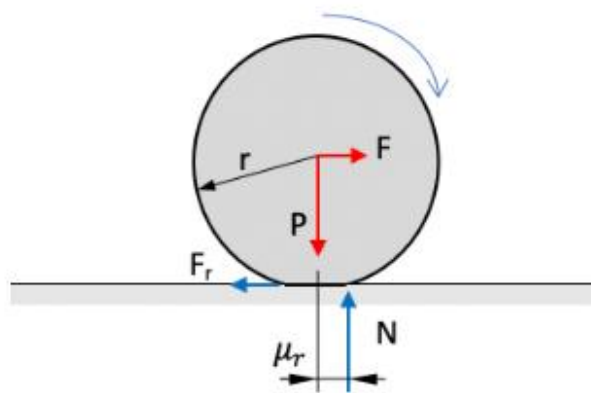


Figura 9. Diagrama de cuerpo libre y fuerzas de un neumático.

(Antonio Pérez, 2024)

P = Carga Aplicada

N = Reacción

F = Fuerza Aplicada

F_r = Fuerza de Rozamiento

μ_r = Distancia de Deformación del Material

r = Radio del neumático

El coeficiente de rodadura viene dado por la siguiente formula:

$$C_{rr} = \frac{\mu_r}{r} \quad \text{Ec. (2)}$$

C_{rr} = Coeficiente de rodadura (*Adimensional*)

μ_r = Distancia de Deformación del Material (*m*)

r = Radio del neumático (*m*)

Por lo tanto, la fuerza de resistencia de rodadura viene dado por la siguiente ecuación:

$$F_R = C_{rr} * F \quad \text{Ec. (3)}$$

F_R = Fuerza de resistencia de rodadura (*N*)

C_{rr} = Coeficiente de rodadura (*Adimensional*)

F = Fuerza Aplicada (*N*)

2.5.2 Resistencia aerodinámica

La fuerza que confronta un objeto moviéndose, por medio del aire, que aumenta de forma exponencial con la velocidad [52]. En la figura 10 se puede observar las fuerzas y momentos que interfieren en el avance del automóvil.

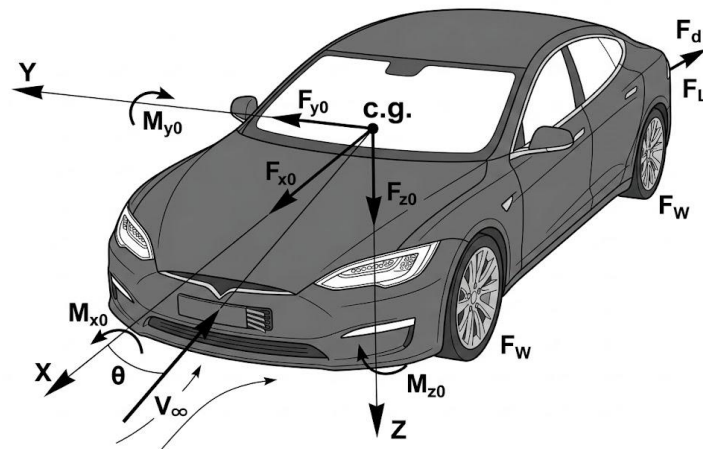


Figura 10. Fuerzas y Momentos del vehículo.

(Paul Guillcatanda & Marcelo Zambrano, 2019)

La resistencia aerodinámica está determinada por la forma y el área frontal del vehículo, así como por la velocidad, la densidad del aire y el viento. En la construcción se tiene especial importancia

el coeficiente de resistencia aerodinámica, lo que determina el esfuerzo del motor y lograr una mayor estabilidad a altas velocidades. La optimización de la resistencia aerodinámica se traduce como menor esfuerzo del motor por ende una disminución del consumo de combustible y emisiones [53]. Por ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_A = \frac{1}{2} * C_X * A * \rho * V^2 \quad \text{Ec. (4)}$$

F_A = Fuerza de Resistencia Aerodinámica. (N)

C_X = Coeficiente de resistencia aerodinámica (Adimensional)

A = Superficie o área Frontal del Vehículo (m^2)

ρ = Densidad del Aire (kg/m^3)

V = Velocidad del vehículo (m/s)

2.5.3 Resistencia por pendiente

Esta se define como la resistencia que se opone al avance del vehículo en tramos de vías ascendentes por lo que depende su magnitud es una función de la gravedad y la masa del vehículo, siendo condicionada por el ángulo de inclinación [54]. Como se muestra la figura 11 depende del peso del vehículo y la inclinación [55].

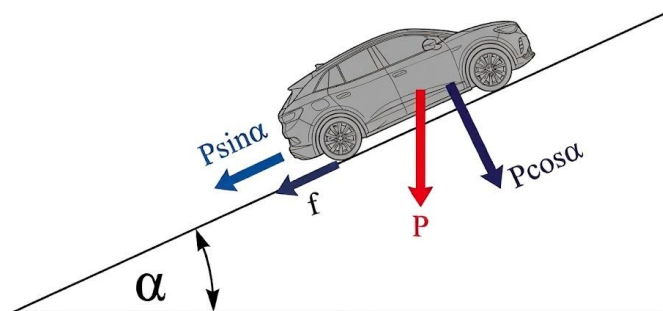


Figura 11: Influencia del gradiente y la masa en la resistencia al ascenso.

(Cueva del Ingeniero Civil, 2011)

A medida que el gradiente de la vía aumenta, proporcionalmente el peso vehicular se opone al movimiento, exigiendo un mayor esfuerzo mecánico para mantener el movimiento para evitar un descenso de la velocidad, esto se podría minimizarse determinando ciertos parámetros como la selección del engranaje óptimo antes del gradiente, evitar interrupciones en el flujo de potencia

mediante cambios mínimos de marcha y operar el motor en sus límites de diseño para maximizar el par motor [56].

$$F_p = m * g * \text{sen}(\theta) \quad \text{Ec. (5)}$$

F_p = Fuerza de resistencia por pendiente (N)

m = Masa del Vehículo (kg)

g = Gravedad (m/s^2)

θ = Pendiente

2.5.4 Resistencia por inercia:

La fuerza necesaria para vencer el estado de reposo o cambiar la velocidad (aceleración) por lo que depende de la masa del vehículo. De acuerdo con la ecuación de movimiento, la inercia representa la oposición que un móvil presenta ante la aceleración. Al ser una función de la masa y el cambio de velocidad, un incremento en cualquiera de estas variables elevará la fuerza de inercia a vencer. En consecuencia, esta resistencia debe ser contrarrestada por la fuerza de tracción del motor para hacer posible el desplazamiento.

$$F_I = m * a \quad \text{Ec. (6)}$$

F_I = Fuerza de resistencia por Inercia (N)

m = Masa del vehículo (kg)

a = Aceleración (m/s^2)

2.6 Tracción del Vehículo

La tracción es primordial para el avance del vehículo por ello depende de características esenciales como el par motor, la potencia disponible, rendimiento de la transmisión elementos esenciales para vencer a las fuerzas de resistencia que ejercen en movimiento. Asimismo, la arquitectura del vehículo puede variar según la configuración motriz como: Tracción Delantera (sus siglas en inglés FWD), Tracción Trasera (sus siglas en inglés RWD), o tracción a las 4 ruedas o integral (por sus siglas en inglés 4WD/AWD) [57].

2.6.1 Potencia

La potencia es la capacidad de un motor para realizar un trabajo en un tiempo determinado. Su unidad en el SI es el watts o vatios (por su sigla en inglés W). De forma que se expresa en cuantas veces se puede aprovechar el par motor en un dentro de un lapso [58].

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{Ec. (7)}$$

P = Potencia (W)

w = Trabajo (J)

t = Tiempo (s)

Es generada por la influencia de relación de compresión y cilindrada, que en aumento de estos parámetros genera mayor explosión y está ligada por las Revoluciones Por Minuto (RPM) del motor. La potencia también se puede definir como el producto entre la velocidad angular y el torque [59]:

$$P = \tau * \omega \quad \text{Ec. (8)}$$

P = Potencia (W)

τ = Torque o Par Motor (Nm)

ω = Velocidad Angular (rad/s)

La potencia también interfiere en la contaminación y consumo de combustible, entre menos potencia la contaminación es menos [60]. Es por ello que la potencia también depende netamente del combustible, la cantidad que logre quemar en un ciclo, y el aire que ingrese a la cámara de combustión, que depende de la temperatura, presión y humedad que se encuentre [61].

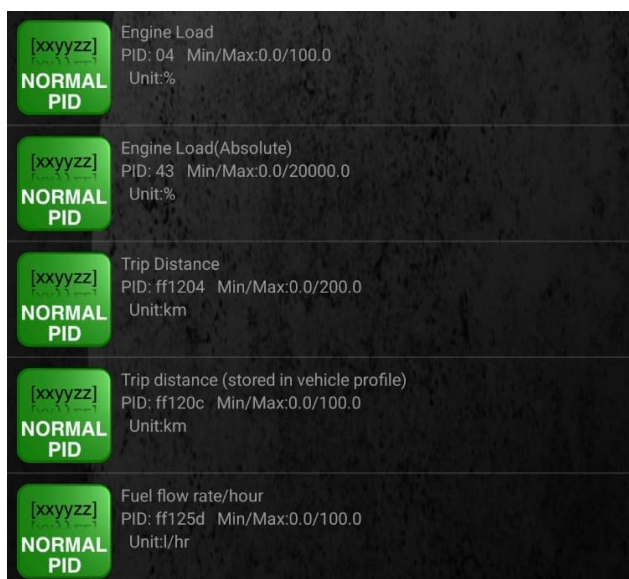
2.7 Tecnologías de monitoreo y adquisición de datos

2.7.1 Red de Área de Controlador

La Red de Área de Controlador (por sus siglas en inglés CAN) es un protocolo para el intercambio de información de la Unidad de Control Electrónico (sus siglas en inglés, ECU), de ciertos parámetros del vehículo para aplicaciones en tiempo real. Por lo que sea ha incorporado al Diagnostico a Bordo Segunda Generación (sus siglas en inglés, OBD-II). Esta tecnología implementa sistemas con propiedades de alta integridad o de tiempo real, con herramientas para la detección de errores. Los protocolos ISO 11989-2 e ISO 11989-3 estandariza las velocidades, altas o bajas respectivamente, de acuerdo a distancias pueden variar las velocidades y el tiempo de transmisión [62].

2.7.3 Identificadores de parámetros de diagnóstico a bordo OBD – II

Los Identificadores de Parámetros (por sus siglas en inglés PID's) son códigos estandarizados utilizados por herramientas de diagnósticos para requerir información específica de un vehículo, a través de ellos se puede obtener lecturas precisas de sensores y actuadores facilitando el análisis del rendimiento del motor. La SAE se definió códigos PID's en modo operación bajo el estándar J1939. El técnico automotriz mediante un dispositivo, escáner para comunicarse con la ECU mediante el sistema OBD – II, permitiendo verificar los códigos de falla y así facilitar el diagnóstico del vehículo [67].



[xyyz] NORMAL PID	Engine Load PID: 04 Min/Max:0.0/100.0 Unit:%
[xyyz] NORMAL PID	Engine Load(Absolute) PID: 43 Min/Max:0.0/20000.0 Unit:%
[xyyz] NORMAL PID	Trip Distance PID: ff1204 Min/Max:0.0/200.0 Unit:km
[xyyz] NORMAL PID	Trip distance (stored in vehicle profile) PID: ff120c Min/Max:0.0/100.0 Unit:km
[xyyz] NORMAL PID	Fuel flow rate/hour PID: ff125d Min/Max:0.0/100.0 Unit:l/hr

Figura 13. Identificadores de Parámetros del aplicativo Torque Pro.

(Autoría Propia)

CAPITULO III METODOLOGÍA

En la figura 14 se muestra el procedimiento que se llevó a cabo para esta investigación. Inicialmente, se llevó una planificación del estudio y la coordinación con la Escuela de Conducción de la Universidad Técnica del Norte (UTN), definiendo los grupos partícipes y las condiciones de operación del vehículo de práctica. Posteriormente, se procedió a la intervención educativa, donde se impartieron contenidos teóricos y prácticos relacionados con la Conducción Ecológica (Ecodriving), enfatizando las técnicas que promueven una conducción eficiente y ambientalmente responsable.

Durante la fase experimental, se realizaron pruebas prácticas controladas utilizando el dispositivo ELM327 OBII, el cual permitió el registro de variables operativas como el consumo de combustible, velocidad, distancia recorrida, tiempo, etc.

Los datos obtenidos fueron procesados mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel y scripts desarrollados para los cálculos respectivos en R Studio, con el objetivo de determinar las diferencias en el consumo y las emisiones entre los conductores instruidos en conducción ecológica (Ecodriving) y una conducción normal o convencional.

Finalmente, los resultados experimentales permitieron evaluar la influencia de la conducción ecológica en la eficiencia energética vehicular y en la reducción de emisiones contaminantes, aportando fundamentos técnicos para la elaboración de un manual de conducción eficiente aplicable a programas de formación vial.

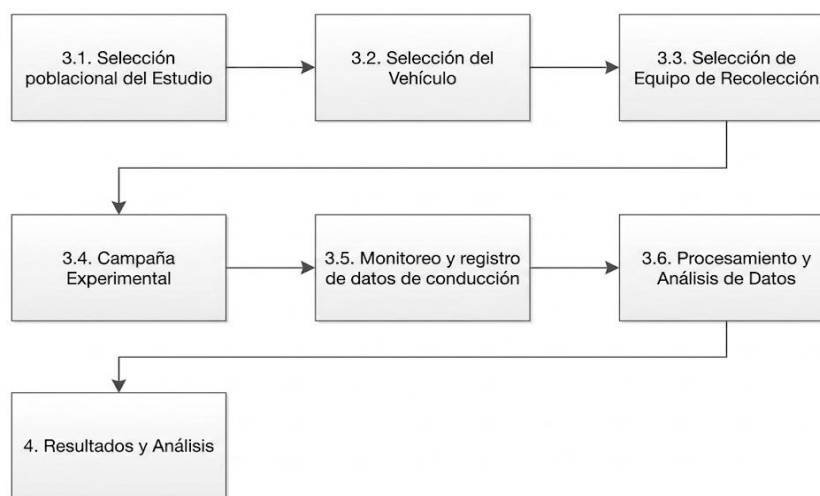


Figura 14. Marco metodológico del estudio
(Autoría Propia)

3.1 Selección poblacional de estudio

El desarrollo de la investigación se realizó mediante los cursos regulares para la obtención de la licencia tipo C de la Escuela de Conducción de la UTN como se muestra en la figura 15, en donde abordan formación teórica de diferentes asignaturas relacionadas a las Leyes de Tránsito, Mecánica en general, Educación Ambiental, entre otros. En las clases prácticas, los estudiantes utilizan los vehículos de la institución, mediante la supervisión del instructor de conducción para su aprendizaje en la conducción.

Figura 15. Escuela de Capacitación para Conductores Profesionales UTN



(Universidad Técnica del Norte, 2025)

Se realizó una solicitud emitida desde Coordinación de la carrera de Automotriz a la Escuela de Conducción, solicitando que, mediante los cursos regulares, se incorpore un módulo en la asignatura de Educación Ambiental, que contiene conceptos sobre Conducción Ecológica para su posterior aplicación en las clases practica por parte de los estudiantes. Además, se solicitó que la asignatura se programe para el inicio del curso. En las clases prácticas con la utilización del vehículo institucional se realizará el monitoreo de las variables en las rutas establecidas para su posterior procesamiento mediante un dispositivo no intrusivo para la adquisición de datos del vehículo. La solicitud fue aceptada y se procedió con el desarrollo de la investigación.

3.1.1 Definición de grupos de estudiantes

Los estudiantes que se matricularon para el periodo académico 2025-2026, fueron 173 estudiantes, que fueron distribuidos administrativamente en seis paralelos (del A al F). Los grupos seleccionados corresponden a cursos mixto (hombre y mujeres) como se muestra a continuación quienes estaban a disposición de la docente de la asignatura de Educación Ambiental:

Grupo Ecodriving (GE - Experimental) Cursos A y F: Estos grupos fueron sometidos la capacitación en conducción ecológica). Tras la encuesta inicial, recibieron el programa de

capacitación teórica y posterior la supervisión práctica monitoreando la aplicación de las técnicas explicadas dentro módulo impartido, en rutas preestablecidas.

Grupo Control (GC - Control) Curso C: Este grupo actuó como referencia de la conducción sin enseñanza de técnicas y conceptos de Ecodriving. Realizaron la encuesta inicial pero no recibieron la capacitación específica sobre conducción eficiente, manteniéndose bajo el esquema de instrucción tradicional de la escuela hasta finalizar la recolección de datos telemétricos.

En la tabla 1 se detalla el número de participantes de cada grupo de estudio seleccionados y la planificación para la intervención educativa.

Tabla 1. Planificación para la evaluación de los grupos: Ecodriving y Control.

Grupo de Estudio	Paralelos	Número de Estudiantes (n)	Fase 1:	Fase 2:	Fase 3:	Fase 4:
			Diagnóstico (Pre-Intervención)	Intervención	Diagnóstico (Post-Intervención)	Medición (Post-Intervención)
Ecodriving	A y F	43	Encuesta	Capacitación Ecodriving	Encuesta	Telemetría en Ruta
Control	C	34	Encuesta	Instrucción Tradicional	Encuesta	Telemetría en Ruta

(Autoría Propia)

Este procedimiento tuvo como objetivo establecer una línea base de conocimientos, verificando la homogeneidad de la población respecto a conceptos de Conducción Ecológica y sus técnicas. Con los grupos divididos, cada estudiante está bajo supervisión dentro de la práctica de conducción, bajo condiciones homogéneas de operación en una ruta preestablecida por la Escuela de Conducción, para la obtención de datos requeridos para la investigación.

3.2 Selección del vehículo

La institución cuenta con una flota de vehículos especializados para las clases prácticas de la Licencia Tipo C, los cuales están plenamente acondicionados para sus prácticas, conformados por los siguientes vehículos: Chevrolet Sail Tipo Sedan, Great Wall Poer Tipo Camioneta y JAC Sunray Tipo Furgoneta.

La unidad seleccionada para la investigación corresponde al vehículo de la marca Chevrolet, modelo Sail, año de fabricación 2022, como se muestra en la figura 16. La unidad experimental

cuenta con un motor de combustión interna de ciclo Otto, con tecnología de apertura variable de válvulas (DVVT), con un diseño para el equilibrio entre potencia y eficiencia de combustible.

Antes de proceder al monitoreo de datos, se realizó una inspección mecánica que conlleva los siguientes parámetros.

- **Odómetro:** Se verificó su recorrido acumulado y contaba con 24626 kilómetros, el cual asegura que el motor se encuentra en una etapa de estabilidad mecánica y eficiencia operativa.
- **Fluidos del motor:** Se constató que los niveles de fluidos tanto del aceite y refrigerante que estén en niveles nominales para garantizar el funcionamiento óptimo del motor.
- **Filtros:** Se verificó que los filtros de aire y gasolina no presenten acumulación de impurezas o suciedad que puedan afectar directamente en las emisiones de gases y el consumo de combustible.
- **Neumáticos:** Se verificó la presión de inflado de los neumáticos que estén bajo las especificaciones que determina el fabricante.

Figura 16. Vehículo utilizado para la fase experimental.



(Autoría Propia)

En la Tabla 2 se presentan las especificaciones técnicas como el motor, tracción, combustible que utiliza, capacidad de combustible, entre otros del vehículo Chevrolet Sail 2022. [68].

Tabla 2. Especificaciones técnicas del vehículo de prueba.

Parámetro	Especificación
Marca / Modelo	Chevrolet Sail
Año de fabricación	2022
Motor	1.5L DOHC VVT (16 válvulas)
Potencia máxima	109 HP @ 6000 rpm
Transmisión	Manual de 5 velocidades
Tracción	Delantera (FWD)
Combustible utilizado	Gasolina (Extra/Eco País)
Capacidad de Carga	400 (kg)
Capacidad de tanque de combustible	39/10 (L/gal)

(Chevrolet, 2021)

Cuenta con procesos de revisión y aprobación vigentes por parte de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y matriculación por parte de REVIPLUS, organismos que certifica el cumplimiento de los estándares de seguridad, movilidad y emisiones.

3.2.1 Configuración de carga y ocupantes

Las personas a bordo del vehículo se conformaron por tres ocupantes, para cumplir funciones específicas:

- **Conductor (Piloto):** Estudiante del grupo establecido (Ecodriving o Control), aspirante a la licencia, encargado de ejecutar los protocolos de conducción ecológica o convencional.
- **Instructor (Copiloto):** Profesional encargado de la supervisión de la ruta, seguridad vial y guía durante el trayecto.
- **Investigador (Asiento posterior):** Encargado de la supervisión de aplicación de técnicas de conducción ecológica, validando en tiempo real la correcta adquisición de datos a través de la interfaz OBD II y la aplicación Torque Pro.

Se estimó una masa promedio de 70 kg por ocupante, lo que representó una carga adicional constante de aproximadamente 210 kg respecto al peso en vacío del vehículo. Esta estandarización asegura que el esfuerzo del motor sea comparable en todas las repeticiones del experimento.

3.3 Selección de equipo y monitoreo de datos

3.3.1 Dispositivo de adquisición de datos.

Para la obtención de los parámetros de operación y datos de trayectoria en tiempo real del vehículo, se utilizó el equipo denominado ELM327 OBD II, un dispositivo electrónico de diagnóstico a bordo como se observa en la figura 17, utilizado para la lectura y registro de variables del motor tales como: velocidad, consumo, temperatura de motor, régimen de motor, carga, aceleración y demás parámetros en función a la necesidad [69].



Figura 17. Dispositivo ELM327 OBD II.

(Carly, 2022)

Mediante el dispositivo ELM 327 y el aplicativo denominado Torque Pro, para dispositivos móviles, es compatible con formato OBDII estándar, se puede conectar mediante protocolo Bluetooth y descargar los datos en formato .CSV compatible con Microsoft Excel.

Para asegurar la fiabilidad y trazabilidad del equipo, se realizó unas pruebas de conectividad, tanto físico, el Interfaz ELM 327 con el vehículo por medio del puerto OBD-II del mismo vehículo e inalámbrica mediante el Protocolo Bluetooth entre el Interfaz ELM 327 y el dispositivo móvil mediante el aplicativo Torque Pro. La ubicación del puerto OBD-II del vehículo, se encuentra en la parte inferior del tablero de accionamiento de las luces, situado en la zona de los pedales como se muestra en la figura 18.



Figura 18. Ubicación del puerto OBD-II del vehículo.

(Autoría Propia)

Mediante el puerto OBD II del vehículo, se conectó el equipo para la recolección de datos, verificando que no haya ninguna anomalía que pueda alterar la comunicación con la ECU, los datos de operación del motor, los datos de trayecto y desplazamiento. Al situar en la posición ON del interruptor de encendido, se verifica la operatividad del sistema a través de la iluminación del indicador LED como se muestra en la figura 19.



Figura 19. Verificación de operación del Interfaz OBD-II mediante el indicador LED.

(Autoría Propia)

Mediante la aplicación de Torque Pro, se comprobó la conexión con la ECU con los iconos de la parte superior de la aplicación como se muestra en la figura 20. Los iconos detallan los siguientes aspectos de conexión:

- **Icono Satélite (GPS):** Confirma que el dispositivo móvil tiene una señal de GPS válida con la telemetría satelital.
- **Icono Teléfono:** Indica que el software Torque Pro está operando correctamente y tiene acceso a los recursos del sistema.
- **Icono Adaptador (BT/OBD):** Confirma que el enlace inalámbrico entre el celular y el adaptador ELM327 conectado al vehículo es estable y sin interferencias.
- **Icono Vehículo (ECU):** Indica que se ha establecido la comunicación con la ECU del vehículo. Esto garantiza que está leyendo los parámetros reales del motor.

Figura 20. Sincronización del dispositivo mediante el aplicativo Torque Pro.



(Autoría Propia)

3.3.2 *Parámetros de Monitoreo*

Los parámetros que se seleccionó mediante el aplicativo Torque Pro como se muestra en la tabla 3, de manera que aporten a los cálculos en una ruta establecida, para el análisis de consumo y estimación de emisiones de CO₂, configurando la frecuencia de grabación de datos 1Hz para asegurar una resolución temporal que permita capturar las variaciones dinámicas del motor en tiempo real.

Tabla 3. Variables de recopilación mediante dispositivo ELM 327 OBD II

Método Utilizado	Tipo de Variable	PID'S	Unidad
Conexión OBD II Mediante la aplicación Torque Pro por Protocolo Bluetooth.	Operación del motor	Fuel Flow Rate/minute	cm ³ /min
	Cinemática del Vehículo	GPS Time	dd/mm/aaaa hh/min/s
		GPS Altitud	m
		Trip Distance	km
		Speed (OBD)	km/h

(Autoría Propia)

3.4 Campaña Experimental

3.4.1 *Ejecución de encuesta antes y después de la intervención educativa*

Para garantizar la validez interna del estudio, se aplicó una encuesta a la totalidad de la muestra seleccionada (Paralelos A, F y C) previo a la intervención. La encuesta se realizó con el fin de verificar el nivel de conocimiento de los participantes referente al Ecodriving. La encuesta tuvo preguntas clave con opciones de respuestas sobre formación previa, conocimientos sobre el vehículo y hábitos de conducción. A continuación, se detallan en la siguiente tabla 4:

Tabla 4. Encuesta antes y después de intervención educativa

Tema	Pregunta	Opciones de Respuesta
1. Capacitación Previa	¿Ha recibido antes algún curso, taller o capacitación en conducción eficiente?	- Si
		- No
2. Cambio de Marcha	¿A cuántas RPM se recomienda cambiar a una marcha superior?	- Aprox. 2000 rpm (Rango Eficiente).
		- Más de 3000 rpm.
		- 1000 a 1500 rpm.

3. Concepto Ecodriving	¿Cuál opción describe mejor una conducción eficiente?	<ul style="list-style-type: none"> - Usar la marcha más alta posible (motor suave). - Mantener marchas con motor a RPM altas. - Aumentar velocidad para reducir tiempo.
4. Uso de 1ra Marcha	La primera marcha debe utilizarse principalmente para:	<ul style="list-style-type: none"> - Mover el vehículo unos pocos metros e iniciar la marcha. - Conducir tramos cortos a baja velocidad. - Mantener potencia en todo momento.
5. Avance sin Aceleración	¿En qué situación es útil dejar que el vehículo avance sin acelerar?	<ul style="list-style-type: none"> - Solo en bajadas pronunciadas - Nunca es útil - Cuando se anticipa que el tráfico disminuirá o se detendrá
6. Consumo Cero	¿Cómo se logra que el motor use “consumo cero” mientras desacelera?	<ul style="list-style-type: none"> - Soltando el acelerador con marcha engranada. - Presionando el embrague (Neutro). - Acelerando ligeramente.
7. Aire Acondicionado	El uso del aire acondicionado normalmente...	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta el consumo de combustible - No cambia el consumo - Reduce el consumo
8. Acciones de Mayor Consumo	¿Qué comportamiento incrementa más el consumo de combustible?	<ul style="list-style-type: none"> - Acelerar y frenar bruscamente - Circular a baja velocidad con una marcha alta - Mantener velocidad constante
9. Presión de Neumáticos	Un vehículo con presión baja en los neumáticos...	<ul style="list-style-type: none"> - Consume más y pierde estabilidad - No cambia su desempeño - Consume menos combustible

(Autoría Propia)

3.4.2 Capacitación sobre Conducción Ecológica (Ecodriving)

En coordinación con el docente de la asignatura de Educación Ambiental, se impartió el Módulo Teórico de Conducción Ecológica (Ecodriving), a los paralelos A y F, los cuales han sido instruidos de manera virtual en una clase sincrónica, que abarca el desarrollo de contenidos conceptuales sobre el consumo energético y las emisiones de gases contaminante, los beneficios que se obtienen, técnicas aplicadas antes, durante y posterior a la conducción.

3.4.3 Características de rutas de estudio.

Los trayectos fueron preestablecidos por la Escuela de Conducción previamente aprobadas por la ANT, para el aprendizaje y seguridad del estudiante en sus clases prácticas. Las rutas fueron dentro de la ciudad de Ibarra, en zonas urbanas y turísticas, de alta y baja demanda de flujo vehicular. Los trayectos recorridos se detallan a continuación:

3.4.3.1 Ruta 1: Ibarra Norte (Zona Urbana)

El trayecto Yahuarcocha – Retorno Universidad UTN tiene una distancia promedio de 13 kilómetros. La ruta da inicio es un punto estratégico en la zona turística de Yahuarcocha. Para más detalle del recorrido se hace un desglose como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Itinerario de Conducción Ruta 1.

Punto de Partida	Vías de Enlaces / Ejes Principales	Retorno
- Punto estratégico en la zona turística de Yahuarcocha, Av. José Tobar y Tobar	- Carretera Panamericana E35	- Calle Gral. José María Córdova
		- Reingreso al campus universitario UTN.

(Autoría Propia)

3.4.3.2 Ruta 2: Ibarra Centro Sur (Zona Urbana)

El trayecto Universidad UTN – La Victoria – Ceibos – Caranqui – Retorno Universidad UTN tiene una distancia promedio de 12.3 kilómetros, recorridos en las vías de la zona centro urbano de Ibarra. Para más detalle del recorrido se hace un desglose como se muestra en la tabla 6:

Tabla 6. Itinerario de Conducción Ruta 2.

Punto de Partida	Vías de Enlaces / Ejes Principales	Retorno
- Estacionamiento de buses escolares UTN (Av. 17 de Julio).	- Av. Padre Aurelio Espinosa Pólit, Calle Carlos Barahona y Calle Tahuando.	- Calle Duchicela, Princesa Paccha, Alfredo Albuja Galindo y Hugo Guzmán Lara.
	- Calles Hernán González, Princesa Cory Cory, Emperador Cacha y retorno por Nazacota Puento.	- Reingreso al campus universitario UTN.
	- Av. El Retorno y Av. Atahualpa.	

(Autoría Propia)

3.4.3.3 Ruta 3: Ibarra Centro (Zona Urbana)

El trayecto Universidad UTN – El Sagrario – Centro – Yacucalle – Bola Amarilla – Retorno Universidad UTN tiene una distancia promedio de 9.6 kilómetros, recorridos en las vías de la zona centro urbano de Ibarra. Para más detalle del recorrido se hace un desglose como se muestra en la tabla 7:

Tabla 7. Itinerario de Conducción Ruta 3.

Punto de Partida	Vías de Enlaces / Ejes Principales	Retorno
- Estacionamiento de buses escolares UTN (Av. 17 de Julio).	- Calles Juan José Flores - Calle Pedro Vicente Maldonado. - Av. Teodoro Gómez de la Torre - Av. Eugenio Espejo - Calle Tobías Mena	- Av. Atahualpa - Av. Simón Bolívar - Av. Carchi - Carretera Panamericana E35 - Calle Gral. José María Córdova - Reingreso al campus universitario UTN.

(Autoría Propia)

En la figura 21 se puede observar las rutas de estudio, contrastados en el mapa de la ciudad de Ibarra.

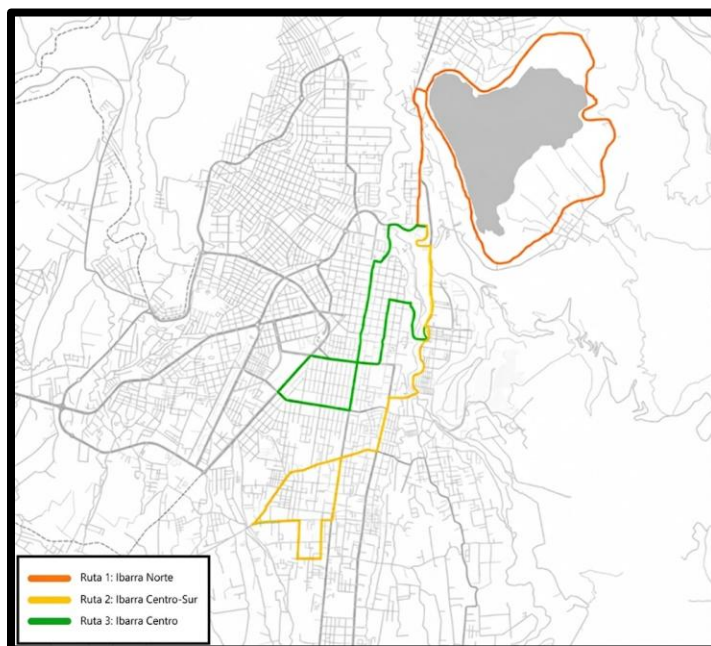


Figura 21: Mapa de rutas en la ciudad de Ibarra.

(Autoría Propia)

3.5 Procesamiento y análisis de datos

La recolección de datos cada ruta recorrida por los estudiantes, mediante el dispositivo ELM327 OBD-II y la aplicación Torque Pro, se exportaron en formato .CSV, permitiendo su gestión inicial en hojas de cálculo y su posterior procesamiento en R Studio, como se muestra en la figura 22 la metodología que empleó para el procesamiento y análisis de datos.

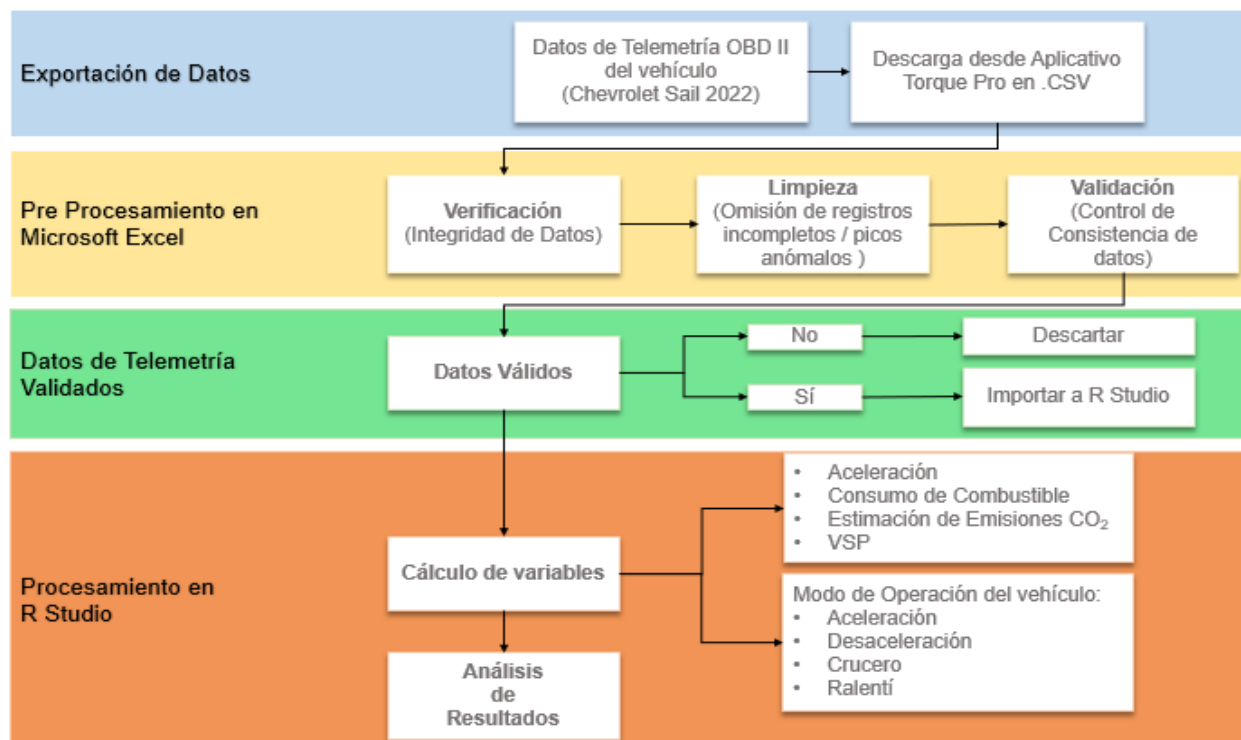


Figura 22: Diagrama de flujo de Procesamiento y Análisis de Datos

(Autoría Propia)

3.5.1 Pre-Procesamiento de datos

Con el objetivo de garantizar la fiabilidad de los resultados, se estableció un protocolo estructurado en tres etapas: verificación, limpieza y validación.

En la etapa de verificación, se inspeccionó individualmente cada archivo para confirmar la presencia íntegra de los PID's seleccionados previamente, tales como el flujo de combustible y la velocidad. Este paso permitió asegurar la continuidad de la información durante la totalidad de los recorridos experimentales.

Posteriormente, se procedió con la limpieza de datos. Este proceso consistió en la identificación y exclusión de registros incompletos o valores nulos que pudieran inducir errores en los cálculos posteriores. Asimismo, se descartaron valores físicamente imposibles, como picos de velocidad

anómalos o lecturas de flujo de combustible fuera de los rangos de operación del motor, los cuales suelen atribuirse a interferencias puntuales en la transmisión inalámbrica de la interfaz.

Finalmente, tras la depuración de la información, se realizó la validación de los datos. Este procedimiento funcionó como un filtro de calidad definitivo para asegurar la consistencia y coherencia de las muestras respecto a las condiciones reales de conducción.

3.5.2 *Procesamiento de datos*

La etapa analítica se realizó mediante el software de R Studio, con el desarrollo de scripts para el procesamiento de grandes cantidades de datos de variables cinemáticas y operación del vehículo. Este enfoque permitió la automatización de cálculos complejos para el análisis de los resultados, asegurando la precisión en el manejo de la información. Para el desarrollo de scripts, se emplearon librerías especializadas dentro del ecosistema Tidyverse, entre las que destacan: lubridate, y fs.

3.5.3 *Cálculo de consumo de combustible*

Se describió los modelos utilizados para la determinación del Consumo de combustible de cada ensayo, a partir de los parámetros seleccionados. Para los cálculos del consumo de combustible (L/100km) podemos utilizar la siguiente ecuación, que se toma el flujo de combustible promedio dividido por la velocidad promedio del vehículo del trayecto [70].

3.5.3.1 *Aceleración*

Se obtuvo mediante la variación de la velocidad (v_i), respecto a la diferencia del tiempo (Δt) entre dos puntos consecutivos donde:

$$a = \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} \quad \text{Ec. (9)}$$

3.5.3.2 *Combustible*

Se realizó una conversión del flujo de combustible instantáneo que viene dada por el ELM 327 en centímetros cúbicos por minuto (cc/min) a litros por segundo (L/s) y posterior se hace la multiplicación por el intervalo transcurrido para obtener los litros consumidos instantáneos:

$$L_i = \left[\frac{\text{Flujo}_{cc/min}}{60 * 1000} \right] * \Delta t \quad \text{Ec. (10)}$$

El rendimiento de combustible, normalizado a litros por cada 100 kilómetros (L/100km), constituye el indicador fundamental para evaluar el desempeño energético del vehículo en cada una de las trayectorias realizadas, por ello se realizó la relación con la distancia.

$$FC = \frac{L_{Total}}{D} * 100 \quad \text{Ec. (11)}$$

3.5.3.3 Transformación de tasa de flujo de combustible a masa de combustible

Se calcula la masa de combustible mediante la fórmula de la densidad realizando un despeje para encontrar el valor de masa. La densidad de la gasolina es de 720 kg/m³, 15% menor que la del diésel que es de 850 kg/m³. El valor resultante de la masa de gasolina se transforma de kilogramos a gramos multiplicando por 1000.

3.5.3.4 Consumo de combustible relativo.

Para determinar la viabilidad de las técnicas de conducción ecológica frente a una conducción tradicional, se realizó un análisis comparativo del consumo promedio en L/100km de cada grupo de estudiantes en cada ruta de estudio. El procesamiento de los datos permitió contrastar el ahorro porcentual relativo de consumo de combustible utilizado en cada trayectoria.

$$CCR = \frac{\text{Consumo}_{Convencional} - \text{Consumo}_{Ecologico}}{\text{Consumo}_{Convencional}} * 100 \quad \text{Ec. (12)}$$

3.5.4 Potencia específica del vehículo

Potencia Especifica del Vehículo (sus siglas en inglés VSP), es un parámetro físico utilizado que define la potencia del motor por unidad de masa del vehículo y se expresa en función de la pendiente de la carretera, la velocidad y la aceleración [71]. Se atribuye como la potencia instantánea generada por un motor para vencer a las resistencias, que incluye los efectos de la pendiente de la carretera. Las unidades en el Sistema Internacional (SI) son el watt por kilogramo (W/kg), que es lo mismo que kilowatt por tonelada métrica (kW/ Ton Métrica) [72].

$$VSP = v * (1.1 * a + 9.81 * \text{grade}(\%) + 0.132) + 3.02 * 10^{-4} * v^3 \quad \text{Ec. (13)}$$

VSP = Potencia Específica del Vehículo

a = Aceleración

v = Velocidad.

grade = Porcentaje de Pendiente de carretera

3.5.5 Estimación de emisiones de CO₂

Para realizar el cálculo de la tasa de emisiones de CO₂, se hizo a partir de la estequiometría de la reacción química del combustible, en este caso la gasolina es C₈H₁₈ la relación de masa entre hidrógeno y carbono, estableciendo una relación de 3,08 y con esto se determina la cantidad de CO₂ por cada unidad másica de combustible consumido, como se muestra a continuación:

$$R_{CO_2} = \frac{44}{12 + \frac{H}{C}} \quad \text{Ec. (14)}$$

En función de esto, la masa de total de emisiones se determina mediante:

$$m_{CO_2} = m_{gasolina} * R_{CO_2} \quad \text{Ec. (15)}$$

Finalmente, para obtener el Factor de Emisión, se relaciona las emisiones totales de CO₂ con la distancia recorrida.

$$FE_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{d_T} \quad \text{Ec. (16)}$$

3.5.6 Modos de operación del vehículo.

Los modos de operación permitieron evaluar los estados de operación cinemática del vehículo (ralentí, crucero, aceleración, y desaceleración) donde determina el comportamiento de conducción del estudiante. En los cálculos se utilizó la aceleración previamente calculada y la velocidad para cada modo. Para determinar el porcentaje de tiempo que el vehículo permanece en cada operación durante los trayectos, se utilizó la siguiente formula.

$$E_{modo} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_i}{T_{Total}} \right) * 100 \quad \text{Ec. (17)}$$

Para entender, que modo de operación se encuentra el vehículo, se aplican los siguientes criterios basados en la aceleración y la velocidad, como se muestra en la siguiente tabla 8:

Tabla 8. Parámetros de velocidad y aceleración para clasificación de modos de operación

Modo de Operación	Velocidad (v)	Aceleración (a)
Ralentí	$v < 1 \text{ km/h}$	$a = 0 \text{ m/s}^2$
Crucero	$v \geq 1 \text{ km/h}$	$-0.15 \leq a \leq 0.15 \text{ m/s}^2$
Aceleración	$v \geq 1 \text{ km/h}$	$a > 0.15 \text{ m/s}^2$
Desaceleración	$v \geq 1 \text{ km/h}$	$a > -0.15 \text{ m/s}^2$

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se analizan las encuestas realizadas a los estudiantes para verificar su nivel de comprensión sobre la Conducción Ecológica (Ecodriving), con el objetivo de evaluar su asimilación con los conceptos teóricos y comprender los resultados operativos registrados.

Tras el procesamiento de los datos telemétricos adquiridos, se procedió a la evaluación de los parámetros críticos. A través de limpieza y validación de datos mediante hojas de Microsoft Excel y el procesamiento de los cálculos en software de R Studio, se evalúan variables determinantes como la velocidad media, tiempo de trayecto, consumo de combustible, VSP, los factores de emisión de CO₂ y los estados dinámicos del vehículo.

Además, se sistematizan y analizan cuantitativamente los resultados experimentales obtenidos, con el propósito de establecer una comparación técnica entre los tipos de conducción implementadas por los estudiantes en el vehículo de instrucción de la Escuela de Conducción.

Los datos obtenidos reflejan las variaciones operativas entre ambos perfiles de conducción, permitiendo cuantificar con rigor técnico el desempeño energético en cada trayectoria y las emisiones de CO₂ en el vehículo de prueba.

Estos indicadores obtenidos mediante las rutas establecidas anteriormente en condición de tráfico real sirven como base fundamental para la elaboración del Manual de Conducción Eficiente propuesto en esta investigación.

4.1 Análisis de encuestas.

Para evaluar la efectividad de la Intervención Educativa realizada a los estudiantes, se realiza un análisis comparativo de la encuesta realizada antes y después de la intervención con, 77 participantes de los grupos definidos, evaluando 9 indicadores anteriormente propuesto. Como se observar en la siguiente figura 23 se puede constatar las respuestas obtenidas.

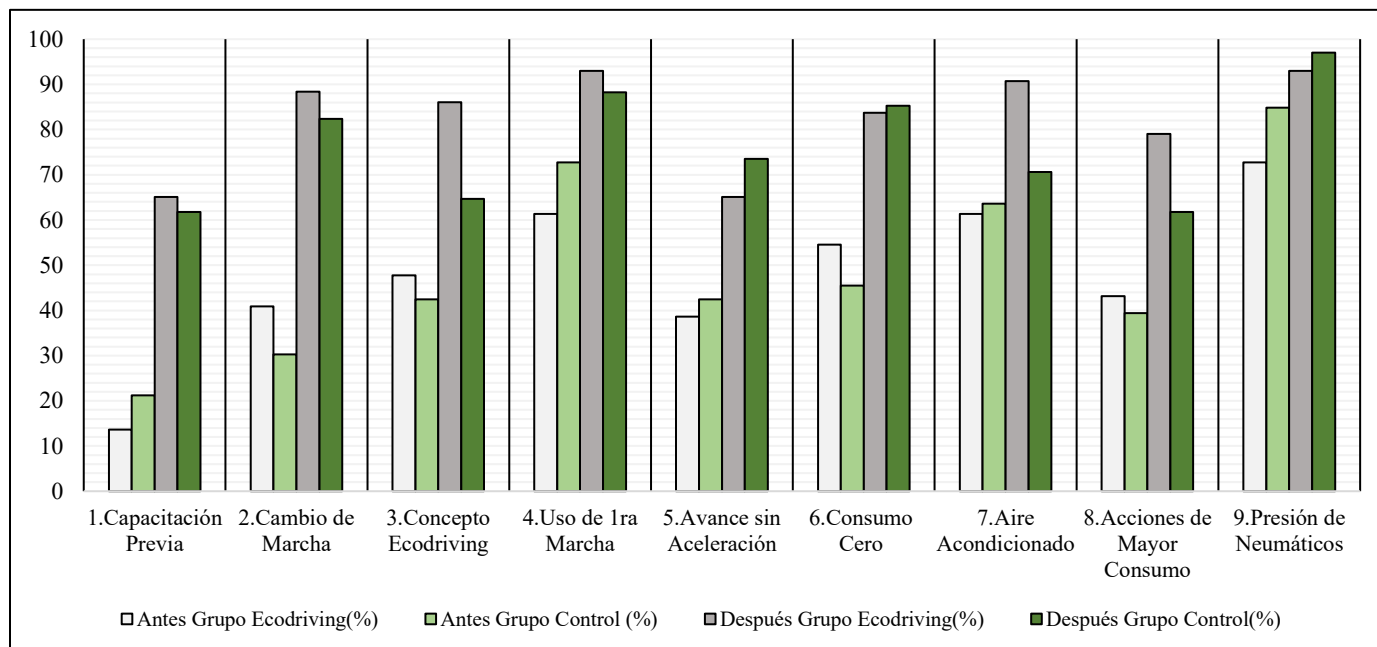


Figura 23. Comparativa porcentual de aciertos de los grupos en Conducción Ecológica antes y después de la intervención.

(Autoría Propia)

Se registra una mejora significativa en los niveles de conocimientos entre el antes y después de la intervención educativa, en el que se puede constatar una rectificación sobre los conceptos que tenían los estudiantes, referentes a una conducción ecológica (Ecodriving). El nivel de conocimiento general sobre conducción ecológica ascendió notablemente, corroborando la eficacia del módulo impartido en clases. Se evidencia un dominio de conocimientos en las preguntas las 2 y 6, técnicas que son asociadas al cambio de marcha y consumo de combustible, donde hay una mejora del 88.37% y el consumo cero de 83.72% respectivamente durante una conducción urbana.

En las preguntas 7 y 9, en cuanto a otros factores externos que afectan a la eficiencia, como la resistencia de rodadura, provocada por la fricción de los neumáticos y los sistemas auxiliares del vehículo, se logra una mejoría del 90.7% y 93.02% respectivamente. La identificación de

comportamientos que incrementan el consumo como aceleraciones y frenados bruscos muestra una mejoría del 43.18% al 79,07%, representando una asociación con los términos de conducción normal y conducción ecológica, que son estilos de conducción que inciden directamente con el consumo y emisiones. Por otra parte, se puede observar que el grupo Control, tras no haber recibido el Módulo de Ecodriving, tiene menor nivel de conocimiento en comparación con el grupo Ecodriving. Se puede atribuir que, mediante las clases prácticas, han adquirido conocimientos compartidos por el instructor de conducción, como en las preguntas 4 y 9 hay una mejoría en cuanto temas como el inicio de la marcha y la influencia de los neumáticos en el combustible con 88.24% y 97.06%. Sin embargo, en temas donde los sistemas auxiliares consumen energía, la asimilación de esto tiene una mejoría es leve de 63.64% a 70.59%, por lo que sugiere no asimilan los conceptos que afectan el consumo. En promedio general se puede destacar, el grupo Ecodriving alcanzo el 82.69%, supera al grupo Control con 76.14% respectivamente la diferencia neta de 6.54%.

4.2 Análisis por rutas de estudio.

El monitoreo del vehículo Chevrolet Sail 2022, la distancia recorrida y el tiempo empleado como se muestra en la siguiente tabla 9, supera los 920 km de recorrido y tiempo de trabajo equivalente a 49 horas en 76 viajes realizados en la ciudad de Ibarra.

Tabla 9. Resumen global de distancia acumulada y tiempo para el monitoreo del vehículo.

Parámetro	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Total
Distancia recorrida (km)	354.82	397.56	174.11	926.49
Duración (min)	741.96	1451.05	752.61	2945.62

(Autoría Propia)

4.2.1 Análisis de Consumo de Combustible

4.2.1.1 Análisis General

Se consolidan los resultados obtenidos de las tres rutas estudiadas, donde se realiza una evaluación integral de la conducción eficiente o ecológica frente a una conducción normal o convencional, que permite determinar la efectividad de las técnicas de Ecodriving bajo distintos escenarios y condiciones de flujo vehicular. Se puede diferenciar en la figura 24, el promedio grupal en cada una de las Rutas ensayo, donde es más evidente la eficiencia energética de las técnicas empleadas.

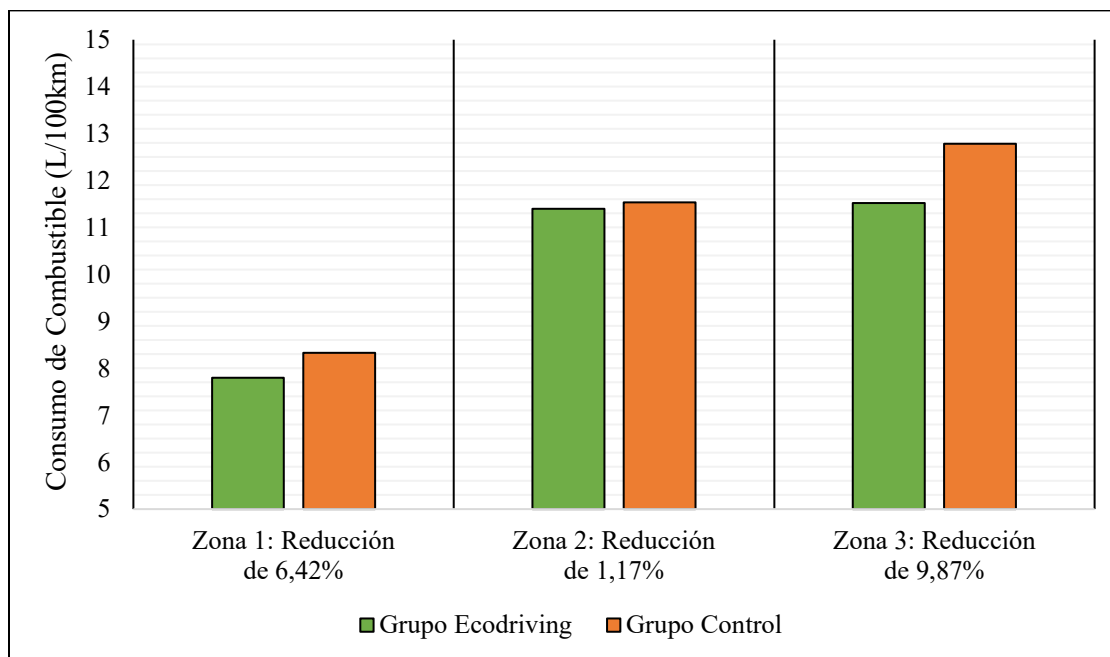


Figura 24. Consumo de Combustible por grupo y ruta de ensayo.

(Autoría Propia)

Se puede observar que el consumo en la Ruta 1, la reducción del grupo Ecodriving frente al grupo Control es de 0.5 L/100km, para la Ruta 2 es de 0.13 L/100km y la Ruta 3 es de 1.26 L/100km.

En términos de gramos por cada kilómetro recorrido para las diferentes rutas: Ruta 1 (56.13 y 59.98 g/km), Ruta 2 (82.08 y 83.05 g/km) y la Ruta 3 (82.94 y 92.03 g/km) respectivamente.

Aplicando la Ecuación 13, se determina que la implementación de las técnicas de Conducción Ecológica reduce el consumo. Como se observa el ahorro de consumo es evidente, la Ruta 1 logra el 6.42%, al ser una ruta de menor demanda de flujo vehicular, a comparación a la Ruta 3 logra el 9.87%, el mayor ahorro a comparación de las demás rutas siendo una zona urbana concurrida. Estos resultados obtenidos representan un logro significativo debido a las condiciones y restricciones de las zonas, como lo es la Ruta 2 que se logra un ahorro de 1.17%, demostrando que las técnicas de conducción ecológica, teniendo limitaciones, funcionan en diferentes escenarios de mayor o menor complejidad de manejo. El promedio en esta investigación obtenido es de 5.82% en la reducción del consumo de combustible.

4.2.1.2 Consumo de combustible (Ruta 1: Ibarra Norte)

Los resultados presentados en las tablas 10 y 11 detallan las variables recopiladas y el consumo de combustible de cada uno participante de cada grupo en un trayecto de menor demanda de flujo vehicular.

Tabla 10: Variables grupo Ecodriving consumo de combustible (Ruta 1: Ibarra Norte)

Prueba	Distancia (km)	Velocidad Media (km/h)	Consumo (L/100km)	Consumo (L/s)	Consumo Total (g)
Eco_01	20,16	25,45	7,50	5,31*10 ⁻⁴	1089,28
Eco_02	13,17	32,39	8,03	7,23*10 ⁻⁴	761,94
Eco_03	13,11	27,05	8,51	6,40*10 ⁻⁴	803,47
Eco_04	13,01	27,9	7,42	5,75*10 ⁻⁴	695,14
Eco_05	13,07	31,72	8,00	7,05*10 ⁻⁴	753,23
Eco_06	13,12	36,23	7,45	7,49*10 ⁻⁴	703,25
Eco_07	12,86	29,15	7,36	5,96*10 ⁻⁴	680,92
Eco_08	12,98	26,63	8,03	5,94*10 ⁻⁴	750,26
Eco_09	13,11	28,97	7,98	6,42*10 ⁻⁴	752,84
Eco_10	13,39	34,22	7,87	7,48*10 ⁻⁴	758,77
Eco_11	12,72	26,92	7,64	5,71*10 ⁻⁴	699,84
Eco_12	13,14	33,65	7,63	7,13*10 ⁻⁴	722,27
Eco_13	13,06	29,11	7,92	6,41*10 ⁻⁴	745,06

(Autoría Propia)

Tabla 11: Variables grupo Control consumo de combustible (Ruta 1: Ibarra Norte)

Prueba	Distancia (km)	Velocidad Media (km/h)	Consumo (L/100km)	Consumo (L/s)	Consumo Total (g)
Con_001	20,86	40,58	7,79	6,67*10 ⁻⁴	1169,54
Con_002	13,38	25,37	7,30	6,42*10 ⁻⁴	703,72
Con_003	13,06	29,6	8,97	6,60*10 ⁻⁴	843,79
Con_004	13,13	25,92	7,82	6,60*10 ⁻⁴	739,66
Con_005	13,12	39,25	9,70	5,41*10 ⁻⁴	916,65
Con_006	12,95	26,82	8,09	6,51*10 ⁻⁴	754,9
Con_007	13,12	25,43	8,35	7,18*10 ⁻⁴	788,23
Con_008	13,24	21,83	7,88	7,96*10 ⁻⁴	750,98
Con_009	12,65	22	8,17	7,83*10 ⁻⁴	744,46
Con_010	12,98	27,42	7,68	6,06*10 ⁻⁴	717,72
Con_011	13	38,48	9,94	5,60*10 ⁻⁴	930,55
Con_012	13,36	30,15	8,47	6,25*10 ⁻⁴	814,28
Con_013	13,07	28,63	8,13	6,18*10 ⁻⁴	764,7

(Autoría Propia)

El desempeño energético del grupo Ecodriving muestra la eficiencia en el consumo de combustible a pesar de las variaciones de velocidad media, se mantiene estable con promedios cercanos a 7.5 L/100km por cada trayecto, se resalta en el caso Eco 07 donde el consumo es más bajo de 7.36 L/100km, obtenido en la Ruta 1, lo que muestra un aprovechamiento máximo de la energía cinética del vehículo. Por otra parte, se evidencia mayor consumo energético en el grupo Control por lo que los datos reflejan una dispersión más alta como son los trayectos Con_005 y Con_011, donde la velocidad media supera los 38 km/h y el consumo es de 9.7 L/100km y 9.94 L/100km respectivamente. Esto demuestra, bajo un perfil de conducción normal o convencional, el incremento de velocidad suele ir acompañado de aceleraciones bruscas o periodos de ralenti

excesivos. Al contrastar ambos grupos, se aprecia como las técnicas de conducción ecológica logra la eficiencia frente a una conducción Control, ya que el grupo presenta mayor homogeneidad en su velocidad media

4.2.1.3 Consumo de combustible (Ruta 2: Ibarra Centro Sur)

Los resultados presentados en las tablas 12 y 13, evidencian cómo el entorno urbano y zona topográfica con ascensos pronunciados influye en la eficiencia energética.

Tabla 12: Variables grupo Ecodriving consumo de combustible (Ruta 2: Ibarra Centro Sur)

Prueba	Distancia (km)	Velocidad Media (km/h)	Consumo (L/100km)	Consumo (L/s)	Consumo Total (g)
Eco2_01	12,66	14,18	11,76	4,63*10 ⁻⁴	1072,23
Eco2_02	12,68	15,25	11,39	4,82*10 ⁻⁴	1039,55
Eco2_03	12,82	16,71	11,15	5,18*10 ⁻⁴	1029,6
Eco2_04	12,59	17,26	11,45	5,49*10 ⁻⁴	1037,84
Eco2_05	12,08	16,96	10,66	5,02*10 ⁻⁴	927,54
Eco2_06	12,07	14,61	12,38	5,02*10 ⁻⁴	1075,48
Eco2_07	12,85	20,31	10,06	5,68*10 ⁻⁴	930,77
Eco2_08	12,18	13,91	11,78	4,55*10 ⁻⁴	1033,41
Eco2_09	12,2	15,42	11,90	5,10*10 ⁻⁴	1045,36
Eco2_10	11,55	15,93	11,24	4,97*10 ⁻⁴	934,6
Eco2_11	12,43	15,65	11,89	5,17*10 ⁻⁴	1063,8
Eco2_12	12,34	16,78	10,87	5,06*10 ⁻⁴	965,84
Eco2_13	12,68	16,07	11,10	4,95*10 ⁻⁴	1013,06
Eco2_14	12,28	15,32	12,00	5,11*10 ⁻⁴	1060,85
Eco2_15	12,45	15,82	11,57	5,08*10 ⁻⁴	1036,56
Eco2_16	12,35	15,96	11,20	4,96*10 ⁻⁴	995,95

(Autoría Propia)

Tabla 13: Variables grupo Control consumo de combustible (Ruta 2: Ibarra Centro Sur)

Prueba	Distancia (km)	Velocidad Media (km/h)	Consumo (L/100km)	Consumo (L/s)	Consumo Total (g)
Con2_001	12,71	18,55	10,94	5,64*10 ⁻⁴	1001,02
Con2_002	12,56	18,57	11,29	5,82*10 ⁻⁴	1020,61
Con2_003	12,7	20,02	10,68	5,94*10 ⁻⁴	975,97
Con2_004	12,18	15,88	12,10	5,34*10 ⁻⁴	1061,05
Con2_005	12,43	14,95	12,13	5,04*10 ⁻⁴	1086,12
Con2_006	12,24	15,91	12,41	5,48*10 ⁻⁴	1093,94
Con2_007	11,54	15,17	12,05	5,08*10 ⁻⁴	1001,61
Con2_008	12,24	15,53	12,08	5,21*10 ⁻⁴	1064,17
Con2_009	12,89	16,55	11,20	5,15*10 ⁻⁴	1039,46
Con2_010	12,33	16,72	11,48	5,33*10 ⁻⁴	1019,54
Con2_011	12,66	18,85	11,15	5,84*10 ⁻⁴	1016,32
Con2_012	12,7	17,59	11,91	5,82*10 ⁻⁴	1089,47
Con2_013	13,06	17,44	11,65	5,64*10 ⁻⁴	1094,93
Con2_014	12,1	16,67	12,05	5,58*10 ⁻⁴	1049,98
Con2_015	12,58	19,39	10,66	5,74*10 ⁻⁴	965,75
Con2_016	12,43	16,07	10,77	4,81*10 ⁻⁴	963,81

(Autoría Propia)

El grupo Ecodriving muestra una homogeneidad en el consumo de combustible siendo una zona demográfica de ascensos pronunciados y la intensidad del tráfico vehicular es alta, por ello mayoritariamente el rango esta entre 10.87 L/100km y 12.38 L/100km lo que sugiere una estabilidad en el consumo. En relación con la velocidad media se observa en el Eco2 07 tiene la mayor velocidad media del grupo de 20.31 km/h, el consumo baja a unos puntos mínimos de 10.06 L/100km, lo que el vehículo opera de manera eficiente en zonas de descongestión vehicular. Por otra parte, el grupo Control presenta mayor dispersión en los resultados, donde se registra consumos que superan los 12 L/100km, por lo que se demuestra que hay factores del entorno que determinan el consumo. Además, la velocidad media del grupo, el valor más alto registrado es de 20.02 km/h del viaje Con2_003, su consumo no bajo de manera proporcional, por lo que determina la velocidad alta que se logra, se hizo mediante aceleraciones para los ascensos.

4.2.1.4 Consumo de combustible (Ruta 3: Ibarra Centro)

Los resultados que se muestran en las tablas 14 y 15 evidencian cómo el entorno urbano con variabilidad en el flujo vehicular, donde el recorrido, la distancia es menor.

Tabla 14: Variables grupo Ecodriving consumo de combustible (Ruta 3: Ibarra Centro)

Prueba	Distancia (km)	Velocidad Media (km/h)	Consumo (L/100km)	Consumo (L/s)	Consumo Total (g)
Eco3_01	9,47	13,95	11,72	4,54*10 ⁻⁴	799,42
Eco3_02	9,52	16,53	10,39	4,77*10 ⁻⁴	712,29
Eco3_03	9,57	12,41	12,86	4,43*10 ⁻⁴	886,3
Eco3_04	9,66	16	10,34	4,60*10 ⁻⁴	719,42
Eco3_05	9,5	11,69	12,89	4,19*10 ⁻⁴	881,78
Eco3_06	9,84	15,8	10,97	4,81*10 ⁻⁴	776,72
Eco3_07	9,68	17,07	10,68	5,06*10 ⁻⁴	744,25
Eco3_08	9,61	14,65	10,55	4,29*10 ⁻⁴	729,75
Eco3_09	9,69	11,79	13,28	4,35*10 ⁻⁴	926,42

(Autoría Propia)

Tabla 15: Variables grupo Control consumo de combustible (Ruta 3: Ibarra Centro)

Prueba	Distancia (km)	Velocidad Media (km/h)	Consumo (l/100km)	Consumo (L/s)	Consumo Total (g)
Con3_001	9,61	14,64	12,16	4,95*10 ⁻⁴	841,5
Con3_002	9,53	14,1	11,83	4,63*10 ⁻⁴	811,2
Con3_003	9,73	15,22	11,59	4,90*10 ⁻⁴	812,11
Con3_004	9,43	13,81	11,26	4,32*10 ⁻⁴	764,44
Con3_005	9,88	11,79	13,87	4,54*10 ⁻⁴	986,21
Con3_006	9,88	11,94	14,15	4,69*10 ⁻⁴	1006,31
Con3_007	9,76	12,89	15,10	5,41*10 ⁻⁴	1060,94
Con3_008	9,72	13,48	13,66	5,11*10 ⁻⁴	956,19
Con3_009	10,03	15,8	11,43	5,01*10 ⁻⁴	825,24

(Autoría Propia)

El grupo Ecodriving demuestra un notable cambio, donde se puede corroborar con los valores de consumo de combustible que oscilan entre 10.34 y 13.28 L/100km. Cabe destacar incluso a velocidades medias bajas, como es el caso Eco3_09 de 11.79 km/h, el consumo se mantiene optimizado en 13.28 L/100km, por el otro lado, cuando las condiciones del tráfico permiten una mayor fluidez, como se puede ver en el caso Eco3_07 de 17.07 km/h el consumo desciende a 10.68 L/100km. Esto ratifica que la Conducción Ecológica maximiza el rendimiento del combustible aprovechando periodos de descongestión vehicular. Por el contrario, el grupo Control muestra una tendencia en el alza del consumo combustible, con picos altos de consumo que superan los 13.66 L/100km, y llegan hasta los 15.10 L/100km como en el caso Con3_007, aunque los valores de velocidad media oscilan entre los 11 a 15 km/h, el grupo consume significativamente el combustible. Al hacer un análisis entre la ruta anterior, el grupo Ecodriving logra un consumo menor, mejorando notablemente en esta ruta a comparación a las demás rutas de estudio, que siendo una zona urbana de igual forma transitada que la Ruta 2, el ahorro de combustible es más evidente.

4.2.2 Análisis de Factor de Emisión de CO₂ y VSP

4.2.2.1 Análisis General

Como se puede observar en la figura 25 la reducción del consumo también implica la reducción de las emisiones de CO₂, ya que es directamente proporcional con el consumo.

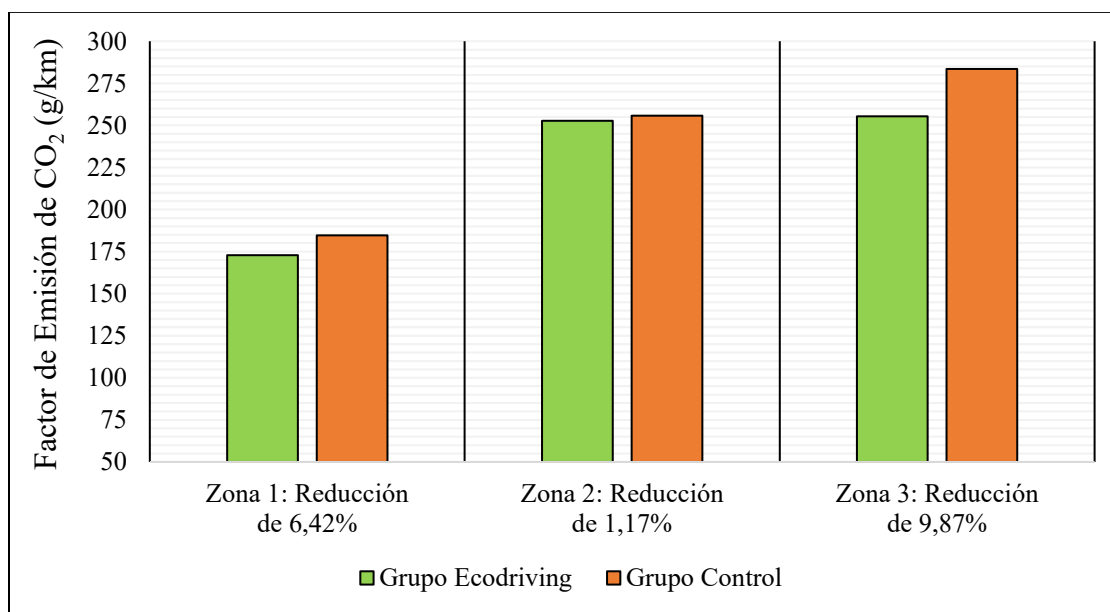


Figura 25. Factor de Emisión de CO₂ por grupo y ruta de Estudio.

(Autoría Propia)

Se puede observar que el grupo Ecodriving, logra la reducción de emisiones CO_2 , ya que está relacionado directamente con el consumo, mientras menos consume, menos emisiones se genera por la combustión de combustible, por ende, el porcentaje de reducción de emisiones es igual al consumo de combustible anteriormente calculado. En la Ruta 1 al ser una zona de bajo flujo vehicular y peatonal, la generación de emisiones es baja en comparación con el entorno urbano de la Ruta 2 y Ruta 3, que tienen alta demanda vehicular y obstáculos que limitan la aplicación de las técnicas de Ecodriving.

Para comprender como se logra una reducción en el consumo y emisiones, es fundamental el análisis de la demanda de potencia la cual dictamina el esfuerzo dinámico que realiza el motor para generar el movimiento como se muestra en la figura 26.

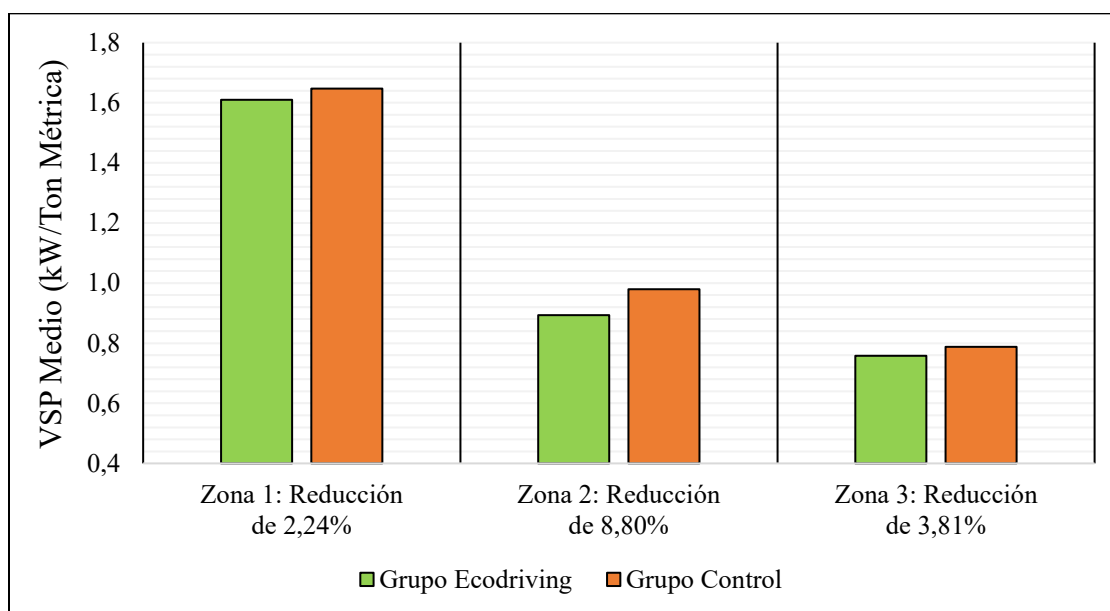


Figura 26. VSP Medio por grupo y ruta de Estudio.

(Autoría Propia)

Para la Ruta 1, la demanda de potencia es significativo en comparación a las demás zonas, y esto se debe a que la velocidad media del grupo es mayor, lo que incrementa las fuerzas de resistencias, por ello la exigencia a vencer estas fuerzas es mayor. Incluso bajo estas condiciones, el grupo Ecodriving logra reducir la demanda de potencia en un 2.24%, logrando así una estabilidad en el consumo de combustible y en los factores de emisión.

Por otra parte, el grupo Ecodriving en la Ruta 2 es una zona demográfica de ascensos pronunciados y demanda de flujo vehicular, el esfuerzo del motor se reduce en un 8.80% por la baja velocidad media y factores del entorno.

La Ruta 3 presenta mayor densidad de flujo vehicular, la velocidad media es menor, debido a las detenciones constantes y arranques frecuentes que ocurre dentro de esta zona, la reducción del esfuerzo del motor es de 3.81%, por ello las fuerzas de resistencia reducen.

4.2.2.2 Factores de Emisión CO₂ y VSP (Ruta 1: Ibarra Norte)

Los resultados presentados en las tablas 16 y 17 detallan las emisiones generadas según el estilo de manejo y la demanda del motor de cada uno de los grupos.

Tabla 16: Variables grupo Ecodriving emisiones y VSP (Ruta 1: Ibarra Norte)

Prueba	Tiempo Total (min)	CO ₂ Total (g)	Factor Emisión CO ₂ (g/km)	VSP Medio (kW/Ton Métrica)
Eco_01	47,52	3355	166,42	1,32
Eco_02	24,4	2346,79	178,19	1,77
Eco_03	29,08	2474,7	188,76	1,53
Eco_04	27,98	2141,04	164,57	1,5
Eco_05	24,72	2319,96	177,5	1,79
Eco_06	21,73	2166,02	165,09	1,94
Eco_07	26,47	2097,22	163,08	1,6
Eco_08	29,25	2310,8	178,03	1,45
Eco_09	27,15	2318,73	176,87	1,47
Eco_10	23,48	2337,02	174,53	1,79
Eco_11	28,35	2155,5	169,46	1,44
Eco_12	23,43	2224,6	169,3	1,83
Eco_13	26,92	2294,77	175,71	1,5

(Autoría Propia)

Tabla 17: Variables grupo Control emisiones y VSP (Ruta 1: Ibarra Norte)

Prueba	Tiempo Total (min)	CO ₂ Total (g)	Factor Emisión CO ₂ (g/km)	VSP Medio (kW/Ton Métrica)
Con_001	40,58	3602,2	172,68	1,76
Con_002	25,37	2167,45	161,99	1,9
Con_003	29,6	2598,87	198,99	1,52
Con_004	25,92	2278,15	173,51	1,74
Con_005	39,25	2823,29	215,19	1,05
Con_006	26,82	2325,09	179,54	1,66
Con_007	25,43	2427,74	185,04	1,75
Con_008	21,83	2313,01	174,7	2,19
Con_009	22	2292,94	181,26	2,14
Con_010	27,42	2210,57	170,31	1,58
Con_011	38,48	2866,1	220,47	1,11
Con_012	30,15	2507,99	187,72	1,58
Con_013	28,63	2355,27	180,2	1,43

(Autoría Propia)

En el grupo Ecodriving se evidencia una gestión optimizada de la potencia, donde se ha mantenido los factores de emisión en rangos controlados, por debajo de los 175g/km. Se destaca el trayecto Eco_07 el cual se registra un factor de emisión de 163.08 g/km con un VSP medio de 1.6 kW/Ton,

estos resultados sugiere que la velocidad en rangos constantes y aplicando las técnicas de conducción ecológica evitando las aceleraciones y frenadas bruscas, el motor opera con mayor eficiencia. Por otra parte, el grupo Control presenta una mayor inestabilidad en la generación de CO₂, como son los casos críticos de Con_005 y Con_011, que presentan factores de emisión de superiores a 215 g/km, aunque presentan menor VSP medio, el tiempo de recorrido es significativamente mayor, por lo que determina una permanencia prolongada en ralentí o la ineficiencia en arranques. Por otro lado, los casos Con_007 y Con_008 presentan un alto VSP medio, por encima de 2 kW/Ton, determina la demanda de potencia superior que los demás, aunque no son los valores altos en emisiones de CO₂, sugiere que, durante el recorrido, la gestión del motor permite mitigar parcialmente el impacto ambiental lo que influye también el Modo de Operación del vehículo.

4.2.2.3 Factores de Emisión CO₂ y VSP (Ruta 2: Ibarra Centro Sur)

Los resultados presentados en las tablas 18 y 19 detallan las emisiones generadas según el estilo de manejo y la demanda del motor por la zona demográfica en el que se realizó el estudio de cada uno de los grupos.

Tabla 18: Variables grupo Ecodriving emisiones y VSP (Ruta 2: Ibarra Centro Sur)

Prueba	Tiempo Total (min)	CO ₂ Total (g)	Factor Emisión CO ₂ (g/km)	VSP Medio (kW/Ton Métrica)
Eco2_01	53,55	3302,47	260,86	0,76
Eco2_02	49,88	3201,83	252,51	0,87
Eco2_03	46,02	3171,18	247,36	0,97
Eco2_04	43,77	3196,54	253,9	1,14
Eco2_05	42,73	2856,84	236,49	0,95
Eco2_06	49,58	3312,46	274,44	0,85
Eco2_07	37,97	2866,76	223,09	1,14
Eco2_08	52,53	3182,91	261,32	0,7
Eco2_09	47,48	3219,7	263,91	0,84
Eco2_10	43,5	2878,57	249,23	0,89
Eco2_11	47,67	3276,51	263,6	0,85
Eco2_12	44,13	2974,78	241,07	0,9
Eco2_13	47,33	3120,23	246,07	0,9
Eco2_14	48,08	3267,41	266,08	0,86
Eco2_15	47,22	3192,62	256,44	0,81
Eco2_16	46,43	3067,53	248,38	0,87

(Autoría Propia)

Tabla 19: Variables grupo Control emisiones y VSP (Ruta 2: Ibarra Centro Sur)

Prueba	Tiempo Total (min)	CO ₂ Total (g)	Factor Emisión CO ₂ (g/km)	VSP Medio (kW/Ton Métrica)
Con2_001	41,1	3083,14	242,58	1
Con2_002	40,58	3143,48	250,28	1,04
Con2_003	38,07	3005,98	236,69	1,16
Con2_004	46,02	3268,04	268,31	0,91
Con2_005	49,87	3345,25	269,13	0,82
Con2_006	46,17	3369,34	275,27	0,88
Con2_007	45,65	3084,96	267,33	0,91
Con2_008	47,3	3277,63	267,78	0,83
Con2_009	46,73	3201,53	248,37	1,02
Con2_010	44,25	3140,18	254,68	0,99
Con2_011	40,3	3130,27	247,26	1,1
Con2_012	43,33	3355,57	264,22	1,03
Con2_013	44,93	3372,38	258,22	1,04
Con2_014	43,55	3233,95	267,27	0,95
Con2_015	38,93	2974,5	236,45	1,13
Con2_016	46,4	2968,53	238,82	0,87

(Autoría Propia)

En este grupo Ecodriving se observa el promedio del VSP medio ronda por los valores 0.89 kW/Ton Métrica, por lo que indica un esfuerzo de motor moderado, por ello se puede constatar los valores de factor de emisión de CO₂ se mantiene en su mayoría por debajo de los 260 g/km, en este grupo se puede destacar el trayecto Eco2_07 con un factor de emisión de 223.09 g/km y un valor mayor del grupo de VSP medio de 1.14 kW/Ton Métrica. En cuanto al tiempo de viaje dura más, el factor de emisión se mantiene controlado lo que demuestra que la técnica de conducción ecológica compensa los tiempos de viaje prolongados por una entrega de potencia moderada.

Por el contrario, el grupo Control muestra una potencia más agresiva y menos optimizada, los valores que se presenta en este grupo, supera el 1 kW/Ton Métrica como son los trayectos Con2_019 y Con2_003, por lo que puede sugerir aceleraciones más intensas para recuperar la velocidad tras las detenciones. Las emisiones se observa valores críticos que alcanzan los 275.27 g/km, al ser comparado con el tiempo, nos indica una conducción agresiva y la falta de optimización. En conjunto se puede observar la efectividad de la conducción ecológica en la Ruta 2, mientras que el grupo Control registra el VSP medio valores promedios superiores a 1kW/Ton Métrica, el grupo Ecodriving logra minimizar hasta un promedio 0.88 kW/Ton Métrica.

4.2.2.4 Factores de Emisión CO₂ y VSP (Ruta 3: Ibarra Centro)

Los resultados presentados en las tablas 20 y 21, la demanda de potencia y las emisiones emitidas depende de la gestión del conductor, la zona no varía su relieve a diferencia de la Ruta 2.

Tabla 20: Variables grupo Ecodriving emisiones y VSP (Ruta 3: Ibarra Centro)

Prueba	Tiempo Total (min)	CO ₂ Total (g)	Factor Emisión CO ₂ (g/km)	VSP Medio (kW/Ton Métrica)
Eco3_01	40,72	2462,2	260	0,64
Eco3_02	34,55	2193,85	230,45	0,88
Eco3_03	46,28	2729,81	285,25	0,65
Eco3_04	36,23	2215,81	229,38	0,87
Eco3_05	48,77	2715,89	285,88	0,66
Eco3_06	37,37	2392,29	243,12	0,8
Eco3_07	34,03	2292,29	236,81	0,95
Eco3_08	39,37	2247,64	233,89	0,75
Eco3_09	49,3	2853,37	294,47	0,62

(Autoría Propia)

Tabla 21: Variables grupo Control emisiones y VSP (Ruta 3: Ibarra Centro)

Prueba	Tiempo Total (min)	CO ₂ Total (g)	Factor Emisión CO ₂ (g/km)	VSP Medio (kW/Ton Métrica)
Con3_001	39,38	2591,81	269,7	0,85
Con3_002	40,55	2498,48	262,17	0,76
Con3_003	38,35	2501,3	257,07	0,86
Con3_004	40,98	2354,46	249,68	0,86
Con3_005	50,3	3037,54	307,44	0,67
Con3_006	49,63	3099,42	313,71	0,65
Con3_007	45,42	3267,69	334,8	0,7
Con3_008	43,28	2945,05	302,99	0,81
Con3_009	38,1	2541,75	253,41	0,93

(Autoría Propia)

El grupo Ecodriving presenta una eficiencia en cuanto a la demanda del motor, con un VSP medio que oscila en 0.62 y 0.95 kW/Ton Métrica. Como es el caso de Eco3_07, el VSP medio es de 0.95 kW/Ton Métrica con un factor de emisión de 236,81 g/km, lo que indica que el motor opera en un régimen constante. Por otro lado, en el caso Eco3_09, el tiempo de viaje es mayor, se logra un VSP medio bajo de 0.62 kW/Ton Métrica, lo cual se atribuye a la densidad del tráfico, mayores detenciones o técnicas de Conducción Ecológica como “Mantener revoluciones bajas en marchas altas” para evitar revoluciones altas.

Por otra parte, el grupo Control presenta factores de emisión mayores, como en el caso Con3_007 los 334.8 g/km, a pesar de que los valores de VSP medio son similares a las del grupo Ecodriving, las emisiones totales son superiores por lo que se puede atribuir a conducciones más agresivas. En esta ruta, la efectividad de la Conducción Ecológica se puede atribuir a la ausencia de pendientes a comparación de la Ruta 2, se evita las aceleraciones innecesarias y se permite aplicar más técnicas que reducen las emisiones notablemente.

4.2.3 Análisis de Modos de Operación

4.2.3.1 Análisis General

El consumo, las emisiones y la demanda de potencia se puede entender de mejor manera por los modos de Operación, como se muestra en la figura 27, donde se puede observar el tiempo en el que vehículo mantuvo la velocidad constante o está detenido.

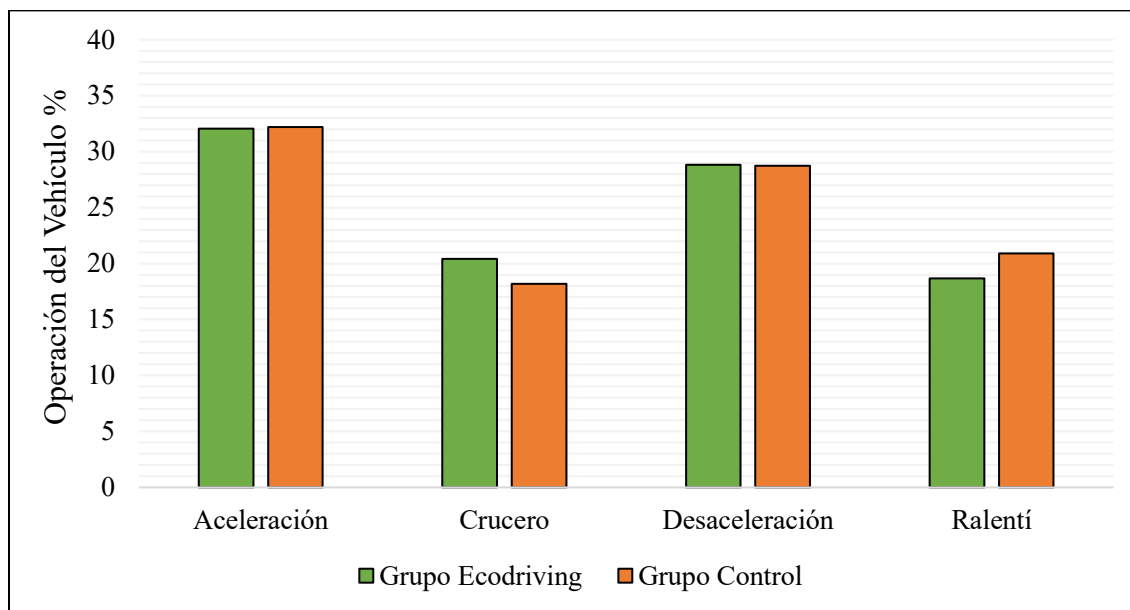


Figura 27. Modos de operación del vehículo por Grupo.

(Autoría Propia)

En general, el grupo Ecodriving mantiene constante la aplicación de las técnicas de Conducción Ecológica, como es mantener la velocidad constante, el modo Crucero, el cual presenta un incremento de un 2.26% en comparación con el grupo de Control. Las aceleraciones y desaceleraciones, aunque la diferencia es mínima, se sugiere que son menos agresivas y más controladas, con el análisis hecho anteriormente del VSP medio y además determinando transitaron por el mismo trayecto con las distancias y tráfico. Para el modo Ralentí, el grupo Ecodriving el tiempo logra reducir su permanencia en un 2.21% a comparación del grupo Control, el aumento del tiempo de detenciones hace que el consumo y las emisiones sean mayores.

4.2.3.2 Modos de Operación (Ruta 1: Ibarra Norte)

Se desglosa en resultados promediados donde se diferencia la operación del motor entre ambos grupos experimentales como se muestra en la tabla 22:

Tabla 22. Promedios de Modo de Operación (Ruta 1: Ibarra Norte)

Grupo	Aceleración	Crucero	Desaceleración	Ralentí
Ecodriving	34.53	24.95	31.65	8.87
Control	34.08	22.19	30.20	13.52

(Autoría Propia)

Se puede constatar la gestión de modo Ralentí, donde el grupo Control tiene 13.52% de permanencia en marcha mínima, a comparación del grupo Ecodriving que logra reducir a 8,87%, lo que implica en términos operativos, la relación de evitar tiempos prolongados en condición ralenti, lo que es un pilar que justifica el ahorro porcentual en el consumo total.

Por otro lado, el grupo Ecodriving muestra superioridad porcentual en los modos de Crucero y Desaceleración, 24.95% y 31.65% respectivamente, lo que demuestra la aplicación de las técnicas impartidas en el módulo, manteniendo una velocidad constante por periodos prolongados y desacelerando en tramos donde no se necesita demanda de potencia. A pesar de que ambos grupos presentan modo de Aceleración similares el impacto en el consumo difiere significativamente.

4.2.3.3 Modos de Operación (Ruta 2: Ibarra Centro Sur)

Se desglosa en resultados promediados de acuerdo con cada modo de operación como se muestra en la tabla 23.

Tabla 23. Promedios de Modo de Operación (Ruta 2: Ibarra Centro Sur)

Grupo	Aceleración	Crucero	Desaceleración	Ralentí
Ecodriving	33.11	19.42	29.39	18.07
Control	35.11	17.35	31.26	16.28

(Autoría Propia)

El grupo Ecodriving logra mantener un Modo de Crucero durante el 19.42% del tiempo frente a un 17.35% del grupo Control, por lo que demuestra que logran tener una estabilidad en mantener la velocidad y conducción con variaciones mínimas de aceleración, demostrando el valor del Modo Aceleración, que indica menor tiempo de demanda de potencia, una diferencia del 2%, donde confirma un perfil menos agresivo de conducción.

El Modo de Desaceleración muestra que el Grupo Control logra un tiempo del 31.26% del tiempo de trayecto total a comparación del Grupo Ecodriving que es de 29.39%, que a pesar de que el grupo muestra un mayor valor debida que mayoritariamente tiene tiempos de aceleraciones mayores y debido al tráfico vehicular que se presenta en esta zona, se puede atribuir la necesidad de frenar paulatinamente y por ello el incremento del tiempo a desaceleraciones constantes. El

tiempo del Modo de Ralentí es mayor para el grupo de Ecodriving con un 18.07%, se tiene en cuenta las técnicas aplicadas en esta zona, como es “Anticipación de Flujo Vehicular”, manteniendo distancias que puede resultar en detenciones parciales, entre vehículo y vehículo, para evitar frenadas bruscas y maniobras erráticas que pueden ocasionar accidentes o simplemente detenciones debido al ser una zona urbana, por señalética vial como la señal de pare o semáforos.

4.2.3.4 Modos de Operación (Ruta 3: Ibarra Centro)

Se desglosa en resultados promediados de acuerdo con cada modo de Operación como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Promedios de Modo de Operación (Ruta 3: Ibarra Centro)

Grupo	Aceleración	Crucero	Desaceleración	Ralentí
Ecodriving	28.50	16.92	25.47	29.11
Control	27.41	14.98	24.75	32.87

(Autoría Propia)

En los resultados, resalta los valores obtenidos para el modo Crucero donde determina el grupo Ecodriving alcanza un 16.92% de permanencia en este modo superando al grupo Control, logrando mantener velocidades constantes con mayor facilidad.

En el Modo de Aceleración, el grupo Ecodriving tiene un valor de 28.50% frente al grupo Control que tiene un valor de 27.41%. por ello la desaceleración es mayor para el grupo Ecodriving al hacer la aplicación de las técnicas al anticiparse al flujo de tráfico, para aprovechar la inercia del vehículo. El Modo Ralentí muestra que el grupo Control estuvo el mayor tiempo del recorrido (32.87%), ya sea por el flujo vehicular en horario de alta densidad de tráfico o tiempos de espera en semáforos, intersecciones, entre otros. Esto afecta directamente al consumo, ya que al estar detenido el vehículo sigue operando y consumiendo combustible si realizar algún trabajo que requerimos aparte de movilizarnos de un sitio a otro.

4.3 Promedios generales por grupo

En la tabla 25, se presentan los promedios generales obtenidos de los grupos de estudio. Los resultados presentados permiten la comparación directa de las variables de esta investigación.

Tabla 25. Promedios de variables por grupo de estudio.

Variables	Grupo	
	Ecodriving	Control
Velocidad Media (km/h)	20,13	20,07
Tiempo Total (min)	38,40	38,73
Consumo (L/s)	$5,36 \cdot 10^{-4}$	$5,62 \cdot 10^{-4}$
Consumo (L/100km)	10,24	10,88
Consumo (g/km)	73,72	78,35
Factor Emisión CO₂ (g/km)	227,05	241,32
VSP Medio (kW/Ton Métrica)	1,09	1,14

(Autoría Propia)

En general, el grupo Ecodriving, registra un consumo de 10.24 L/100km, que representa una reducción del 5.88% frente a los 10.88 L/100km del grupo Control. En cuanto a la velocidad y el tiempo de la prueba la variación es mínima, lo que sugiere que el gasto energético del grupo Ecodriving no interfiere en la operatividad del trayecto.

Por otra parte, existe una correlación directa con el ahorro de combustible con la reducción de emisiones de CO₂. El promedio general obtenido del Factor de Emisión para el grupo Ecodriving fue de 227.05 g/km frente al grupo Control con 241.32 g/km de emisión de CO₂, logrando una reducción de 14.27 g/km de CO₂. El valor promedio de VSP, son de 1.09 y 1.14 (kW/Ton Métrica) respectivamente, lo que sugiere que el grupo mantuvo una demanda de potencia más estable lo que da más veracidad a los datos obtenidos del consumo de combustible y emisiones.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó la evaluación del comportamiento del vehículo y el impacto de las técnicas de conducción en el consumo de combustible, se sintetizan aquí los hallazgos más relevantes que validan el cumplimiento de los objetivos planteados y se proponen directrices estratégicas para futuras investigaciones en el área de la eficiencia energética y la reducción de emisiones.

5.1 Conclusiones

- Se concluye que el módulo impartido dentro de la asignatura de Educación Ambiental sobre Conducción Ecológica demuestra la asimilación de conceptos y técnicas, lo que se refleja en la encuesta aplicadas a los estudiantes de los grupos de estudio. El grupo Control, previo a la intervención educativa supera en un 1% en el nivel de conocimiento teórico de técnicas y conceptos de Ecodriving. Sin embargo, posterior a la intervención el grupo Ecodriving supera en un 7% demostrando la eficacia del módulo.
- Se concluye la realización de la campaña experimental con el propósito de analizar los efectos de Conducción Ecológica, desarrollando el monitoreo dinámico del vehículo tipo sedán Chevrolet Sail 2022 mediante el dispositivo ELM 327 con una frecuencia de muestreo de 1Hz, registrando parámetros de operación en condiciones de tráfico real para su posterior análisis determinando el consumo, emisión de CO₂, esfuerzo de motor y los modos de operación. La campaña se realizó en los meses: diciembre, enero y febrero en rutas preestablecidas en zonas urbanas de la ciudad de Ibarra, con una distancia total recorrida de 926.42 kilómetros, tiempo de conducción y operación del vehículo equivalente a 49 horas.
- Se demuestra que la aplicación de las técnicas de Conducción Ecológica por los estudiantes del grupo Ecodriving, posterior a la intervención educativa en las clases prácticas de conducción en rutas preestablecidas en zonas urbanas de la ciudad de Ibarra, tiene un impacto positivo, con un promedio general de 5.82% en la reducción del consumo de combustible y las emisiones de CO₂. Por otra parte, la reducción de VSP medio, el promedio general es de 4.95%.
- El monitoreo dinámico permitió identificar los modos de operación del motor mientras se aplica las técnicas de Conducción Ecológica, donde se demuestra un incremento del Modo Crucero en todas rutas estudiadas, con el promedio general de 20.43% con una diferencia de un 2.26% frente al grupo de Control, lo que indica mayor tiempo que permanece en este modo

el grupo Ecodriving. Asimismo, se observa una reducción crítica en el Modo Ralentí en el promedio general de 18.68%, con una diferencia de 2.21% frente al grupo de Control, lo que reflejan una gestión más eficiente en los hábitos de conducción el grupo Ecodriving.

- Los resultados obtenidos en esta investigación (encuestas, consumo de combustible, emisiones de CO₂, VSP y modo de operación del vehículo), proporcionan fundamentos técnicos como bases para el Manual de Conducción Ecológica, para fortalecer la aplicación de las técnicas de Ecodriving, mejorando el estilo de conducción, fortaleciendo la seguridad vial y alargar la vida útil del vehículo.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda a las Instituciones de formación vial, Centros de Capacitación Automotriz, Empresas de Transporte y Entidades Públicas integren módulos de Conducción Ecológica en sus currículos educativos. La evidencia técnica de esta investigación muestra que el factor humano es la variable de mayor incidencia en la eficiencia energética, por lo tanto, instrucción de las técnicas de Conducción Ecológica son claves para reducir el impacto ambiental desde la formación de conductores profesionales y no profesionales.
- Para futuras líneas de investigación, se sugiere la implementación de sistemas de adquisición de datos que permiten monitorear variables externas a la red CAN. Asimismo, se recomienda realizar estudios de validación metrológica del dispositivo ELM 327 frente a equipos de estándar profesional, para establecer con mayor precisión los márgenes de error y la fiabilidad de este dispositivo en entornos de telemetría de bajo costo.
- Se sugiere la adopción de tecnologías de telemetría para flotas, basados en datos de variables de operación del motor y el análisis de los mismo, para identificar patrones de conducción en tiempo real, facilitando la toma de decisiones para reducir costos operativos por consumo excesivo y mantenimiento correctivo.
- Se recomienda para futuras investigaciones de emisiones, ampliar el alcance de este estudio, mediante mediciones directas de gases portátiles (sus siglas en inglés PEMS), lo que permitiría correlacionar los factores de emisión de CO₂, estimados en este trabajo con otros contaminantes, para fortalecer políticas de calidad de aire en ciudades de topografía irregular.
- Finalmente, se recomienda replicar este tipo de estudio en una muestra más amplia de vehículos livianos y pesados, zonas topográficas y de mayor flujo vehicular y establecer ciclos de conducción reales más complejos para validar la efectividad de las técnicas Conducción

Ecológica en condiciones de operación críticas, aportando datos fundamentales para la creación de una base de datos local, permitiendo normalizar los indicadores de consumo y emisiones.

ANEXOS

ANEXO 1: Presentaciones del módulo de Conducción Ecológica para la intervención educativa



Universidad Técnica Del Norte
Escuela de Conducción

Conducción Ecológica: Técnicas,
Impacto y Beneficios

¿Cuál es el problema? Energético

Cambio Climático

A nivel mundial, el 25% del petróleo es consumido por automóviles y furgonetas.



En Ecuador, la Gasolina y el Diésel son la mayor demanda del país para su producción, por lo cual, en 2023, **incremento en un 32.5% y 27.5% respectivamente**



Ecuador destina **USD 2.504 millones** en subsidios a combustibles.

En el transcurso de los años, En Ecuador, el parque automotor ha tenido un incremento significativo, por ello, el aumento y la demanda de los combustibles fósiles han sido los mayores requerimientos energéticos

Planificación de Rutas

Utiliza navegadores y aplicaciones para planificar tus trayectos. Evitar atascos, obras o desvíos innecesarios reduce el tiempo de viaje, el consumo de combustible y las emisiones. Conocer el camino ahorra energía.

LA OPTIMIZACIÓN DE RUTAS Y LOS ERP



Marchas Adecuadas

En vehículos de combustión, cambia a marchas más largas lo antes posible sin forzar el motor. La "zona verde" del tacómetro (generalmente entre 2.000 y 2.500 rpm para gasolina, y 1500 a 2000 para diésel) es el rango óptimo para la eficiencia.



Disminuir Velocidad sin aplicación de freno

La velocidad se reducirá debido al motor. Efecto de frenado mediante fricción mecánica (al engranar la marcha). Utilizar la marcha adecuada para una aceleración involuntaria (por ejemplo, mientras conduces cuesta abajo).

PENDIENTES DESCENDIENTES

Baje en una relación de marchas cortas para frenar con el motor.



Técnicas Clave para una Conducción Ecológica

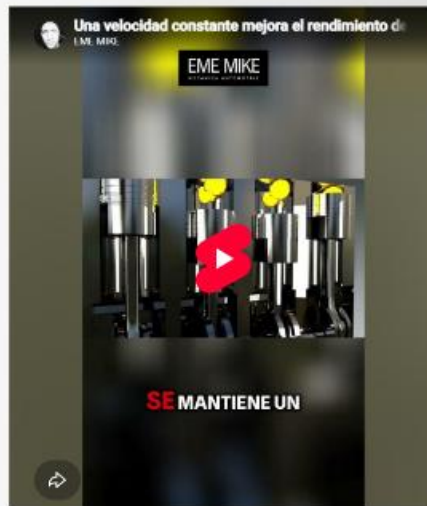
Dominar estas técnicas te permitirá no solo reducir tu huella de carbono, sino también ahorrar una cantidad considerable de dinero en combustible.

"Pie de Pluma" en el Acelerador

Acelera de forma suave y progresiva. Presionar el acelerador con delicadeza, como si tu pie fuera una pluma, evita picos de consumo y reduce el esfuerzo del motor. Es un control fino sobre la potencia del vehículo.

Velocidad Constante y Suave

Evita las aceleraciones y bruscas. Intenta mantener una velocidad lo más constante posible, utilizando el impulso del vehículo y anticipándote frenadas a los semáforos o retenciones. Un flujo constante de tráfico es ideal para el consumo.





Control de Velocidad Crucero Adaptativo

Esta tecnología permite mantener una velocidad constante y una distancia segura con el vehículo de delante, ajustando automáticamente la velocidad, lo que reduce el estrés del conductor y optimiza el consumo en carretera.



Telemetría y Diagnóstico Vehicular

Herramientas que recopilan datos sobre el comportamiento del conductor (aceleraciones, frenadas, velocidad) para flotas, permitiendo identificar ineficiencias, ofrecer retroalimentación y entrenar a los conductores para mejorar su estilo de conducción.

ANEXO 2: Fragmento de Microsoft Excel

GPS Time	GPS Altitude	Timing Advance	Engine Load	Trip Distance	Fuel flow rate	GPS Latitude	GPS Longitude	Kilometers Per Litres	Torque(Nm)	Throttle Posit	Engine RPM(r)	Engine Coolant Speed (GPS)	Speed (OBD)	Segundos
Tue Feb 03 13 22:45:16	2245.16	3	24.71	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	790	96	0.12	0
Tue Feb 03 13 22:45:19	2245.19	3	24.71	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	790	96	2.28	0
Tue Feb 03 13 22:45:01	2245.01	3	24.71	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	782.75	96	2.86	0
Tue Feb 03 13 22:44:79	2244.79	3	25.1	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	782.75	96	1.54	0
Tue Feb 03 13 22:44.87	2244.87	3	25.1	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	782.75	96	4.12	0
Tue Feb 03 13 22:44.8	2244.8	3	25.1	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	782.75	96	3.38	0
Tue Feb 03 13 22:44.8	2244.8	3	25.1	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	782.75	95	3.38	0
Tue Feb 03 13 22:44.71	2244.71	3	25.1	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	786.75	95	2.77	0
Tue Feb 03 13 22:45.03	2245.03	3	25.1	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	786.75	95	3.04	0
Tue Feb 03 13 22:46.01	2246.01	3	25.1	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	786.75	95	0.32	0
Tue Feb 03 13 22:45.91	2245.91	3	25.1	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	786.75	95	0.26	0
Tue Feb 03 13 22:45.94	2245.94	3	25.1	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	786.5	94	0.09	0
Tue Feb 03 13 22:45.95	2245.95	2	25.49	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	786.5	94	0.06	0
Tue Feb 03 13 22:45.91	2245.91	3.5	24.71	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	775.75	94	0.1	0
Tue Feb 03 13 22:46.02	2246.02	3.5	24.71	-	16.72	0.36	-78.11	0	-	17.25	775.75	94	0.46	0
Tue Feb 03 13 22:45.95	2245.95	0	27.45	-	18.38	0.36	-78.11	0	-	17.25	794.25	93	0.27	0
Tue Feb 03 13 22:45.78	2245.78	0	27.45	-	18.38	0.36	-78.11	0	-	17.65	794.25	93	0.28	0
Tue Feb 03 13 22:45.76	2245.76	1.5	27.06	-	18.25	0.36	-78.11	0	-	17.65	788.75	93	0.02	0
Tue Feb 03 13 22:45.68	2245.68	18	30.2	-	19.34	0.36	-78.11	0	-	19.22	741.25	93	0.1	0
Tue Feb 03 13 22:45.65	2245.65	7.5	30.2	-	19.5	0.36	-78.11	0	-	17.65	777.5	93	0.15	0
Tue Feb 03 13 22:45.76	2245.76	0.5	29.41	-	19.87	0.36	-78.11	0	-	18.04	817	93	0.14	0
Tue Feb 03 13 22:45.75	2245.75	-1	28.24	-	19.5	0.36	-78.11	0	-	17.65	805.25	93	0.13	0
Tue Feb 03 13 22:45.68	2245.68	0.5	26.67	-	18.47	0.36	-78.11	0	-	16.86	790.5	93	0.1	0
Tue Feb 03 13 22:45.63	2245.63	0	25.49	-	17.46	0.36	-78.11	0	-	16.86	766	93	0.11	0
Tue Feb 03 13 22:45.64	2245.64	22.5	34.9	-	21.38	0.36	-78.11	0	-	21.57	726.25	93	0.14	0
Tue Feb 03 13 22:45.59	2245.59	12.5	35.29	-	23.62	0.36	-78.11	0	-	21.96	818.5	93	0.45	0
Tue Feb 03 13 22:45.53	2245.53	18.5	40.39	0	30.11	0.36	-78.11	0.55	180.68	1.02	21.57	913	93	1.27
Tue Feb 03 13 22:45.5	2245.5	10.5	41.96	0	27.77	0.36	-78.11	2.4	41.66	13.87	23.92	760.75	92	3.44
Tue Feb 03 13 22:45.55	2245.55	23	40.78	0	30.69	0.36	-78.11	3.26	30.69	18.66	22.75	1023	92	5.93
Tue Feb 03 13 22:45.59	2245.59	31.5	33.33	0	31.87	0.36	-78.11	4.18	23.9	18.66	21.96	1272.75	92	7.45
Tue Feb 03 13 22:45.68	2245.68	33	31.76	0.01	36.21	0.36	-78.11	4.14	24.14	7.54	23.14	1432.25	92	8.92
Tue Feb 03 13 22:45.79	2245.79	28.5	44.31	0.01	57.84	0.36	-78.11	2.88	34.71	5.6	30.98	1693.25	92	10
Tue Feb 03 13 22:45.78	2245.78	19.5	23.53	0.01	41.23	0.36	-78.11	5.66	17.67	27.15	26.67	2080.5	91	12.27
Tue Feb 03 13 22:45.73	2245.73	42	22.35	0.02	48.25	0.36	-78.11	4.84	20.68	27.15	25.1	2126.75	91	14.07
Tue Feb 03 13 22:45.84	2245.84	33	31.76	0.02	59.43	0.36	-78.11	3.93	25.47	27.15	31.37	2222	91	14.41

ANEXO 3: Fragmento de Código en R Studio

```

# Procesamiento de cálculos con rastreo de unidades
calculos <- df %>%
  mutate(
    # --- TIEMPO Y DISTANCIA ---
    dt = as.numeric(difftime(Tiempo, lag(Tiempo), units = "secs")), # Unidad: [s]
    dist_tramo_m = (Dist_Trip - lag(Dist_Trip)) * 1000, # Unidad: [m]

    # --- CINEMÁTICA ---
    v_ms = Vel / 3.6, # Unidad: [m/s]
    accel = (v_ms - lag(v_ms)) / dt, # Unidad: [m/s^2]

    # --- PENDIENTE Y VSP ---
    desnivel = Alt - lag(Alt), # Unidad: [m]
    gradiente = ifelse(dist_tramo_m > 0.5, desnivel / dist_tramo_m, 0), # Unidad: [m/m]
    vsp = v_ms * (1.1 * accel + 9.81 * gradiente + 0.132) + 0.000302 * (v_ms^3), # Unidad: [W/kg] o [kW/Ton]

    # --- TRANSFORMACIÓN DE COMBUSTIBLE (Imagen 1) ---
    litros_i = (Flujo / 60) * dt / 1000, # Unidad: [L]
    volumen_m3 = litros_i / 1000, # Unidad: [m^3]
    masa_kg = RHO_GASOLINA_KG_M3 * volumen_m3, # Unidad: [kg]
    masa_g = masa_kg * 1000, # Unidad: [g]

    # --- CÁLCULO DE EMISIONES CO2 (Imagen 2) ---
    co2_kg = masa_kg * FACTOR_RELACION_CO2, # Unidad: [kg de CO2]
    co2_g = co2_kg * 1000 # Unidad: [g de CO2]
  ) %>%
  filter(!is.na(dt), dt > 0)

```

ANEXO 4: Manual de Conducción Ecológica

MANUAL DE CONDUCCIÓN ECOLÓGICA

Guía para una Conducción Eficiente y
Sostenible



Ahorro de Combustible, Disminución de
Emisiones, Sostenibilidad y Cuidado del
Medio Ambiente

2026

El presente manual ha sido elaborado en base al Trabajo de Grado titulado: **“Efectos de conducción ecológica (ECODRIVING), en consumo de combustible y emisiones en vehículos livianos.”** del estudiante Antoni Steven Cabrera Chabla, de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte. Tiene como objetivo proporcionar estrategias prácticas para la optimización del consumo de combustible y reducir el impacto ambiental. La conducción eficiente no solamente se traduce como ahorro de combustible sino también en reducción del esfuerzo mecánico para el motor y promover una movilidad más segura y sostenible.

Objetivos del Manual de Conducción Ecológica

- Comprender las técnicas fundamentales del Conducción Ecológica
- Aplicar métodos para reducir el consumo
- Reconocer el impacto ambiental y económico
- Mejorar hábitos de manejo en contextos reales



Introducción

El comportamiento del vehículo implica la manera de conducción que tiene la persona y de las decisiones que toma al estar detrás del volante, por ello influyen en una conducción más suave o limitada, en el impacto de las emisiones de GEI dependiendo del tipo de conducción u otros contaminantes (ruido, polvo), las reacciones de las personas que están en otros vehículos.



La Escuela de Conducción de Suecia acuñó el concepto de “Conducción Ecológica” o como su nombre en inglés “Ecodriving”, en 1998. Se refiere al funcionamiento del vehículo que reduce el consumo de energía, para ser más cauteloso con el medio ambiente.



Son una serie de técnicas de conducción en vehículos de carretera que son aplicadas para reducir notablemente el consumo de combustible y las emisiones de gases que emanan del motor efecto de la combustión, mejorando las técnicas de conducción y el fortalecimiento de la seguridad

vial. La contaminación del medio ambiente se vuelve preocupante en toda la sociedad, la conducción ecológica surge como una iniciativa para disminuir el impacto ambiental. En zonas urbanas, los vehículos aceleran en zonas específicas y se detienen en intersecciones como son los semáforos o en pasos peatonales para dar la preferencia a personas, lo cual hace un consumo de energía excesivo.

La conducción ecológica es un estilo de manejo que optimiza el uso del combustible, reduce emisiones contaminantes y mejora la seguridad vial.

Los efectos de una conducción ecológica en MCI, reduce en un 15%-25% en el consumo de combustible, a diferencia de otros tipos como los Vehículo Híbrido (VH), que se puede alcanzar el 50% o los Vehículos Eléctricos (VE), puede alcanzar en un 25% en el consumo de energía.



Otros factores que contribuyen a una conducción ecológica son: verificación de apriete del Tapón de combustible y fugas en el tanque del combustible, cambio de filtros (aceite, combustible y aire), según a las especificaciones dadas por el fabricante, utilizar aceites de marcas verificadas por las entidades de control (API, SAE ILSAC, ASTM, entre otros.) para que las propiedades físicas y químicas no interfieran en las operaciones dentro del motor.

Introducción

El comportamiento del vehículo implica la manera de conducción que tiene la persona y de las decisiones que toma al estar detrás del volante, por ello influyen en una conducción más suave o limitada, en el impacto de las emisiones de GEI dependiendo del tipo de conducción u otros contaminantes (ruido, polvo), las reacciones de las personas que están en otros vehículos.



La Escuela de Conducción de Suecia acuñó el concepto de “Conducción Ecológica” o como su nombre en inglés “Ecodriving”, en 1998. Se refiere al funcionamiento del vehículo que reduce el consumo de energía, para ser más cauteloso con el medio ambiente.



Son una serie de técnicas de conducción en vehículos de carretera que son aplicadas para reducir notablemente el consumo de combustible y las emisiones de gases que emanan del motor efecto de la combustión, mejorando las técnicas de conducción y el fortalecimiento de la seguridad

vial. La contaminación del medio ambiente se vuelve preocupante en toda la sociedad, la conducción ecológica surge como una iniciativa para disminuir el impacto ambiental. En zonas urbanas, los vehículos aceleran en zonas específicas y se detienen en intersecciones como son los semáforos o en pasos peatonales para dar la preferencia a personas, lo cual hace un consumo de energía excesivo.

La conducción ecológica es un estilo de manejo que optimiza el uso del combustible, reduce emisiones contaminantes y mejora la seguridad vial.

Los efectos de una conducción ecológica en MCI, reduce en un 15%-25% en el consumo de combustible, a diferencia de otros tipos como los Vehículo Híbrido (VH), que se puede alcanzar el 50% o los Vehículos Eléctricos (VE), puede alcanzar en un 25% en el consumo de energía.



Otros factores que contribuyen a una conducción ecológica son: verificación de apriete del Tapón de combustible y fugas en el tanque del combustible, cambio de filtros (aceite, combustible y aire), según a las especificaciones dadas por el fabricante, utilizar aceites de marcas verificadas por las entidades de control (API, SAE ILSAC, ASTM, entre otros.) para que las propiedades físicas y químicas no interfieran en las operaciones dentro del motor.

Eficiencia a la conducción y Sostenibilidad

• Consumo de Combustible

La optimización del consumo es el beneficio económico más tangible. Mediante el procesamiento de datos recolectados mediante software especializados, se ha evidenciado en varios trabajos del mismo tipo que la aplicación de técnicas de Conducción Ecológica permite una reducción significativa en el gasto de combustible. Este ahorro no solo obedece a una menor velocidad media, sino a un cambio de los hábitos del conductor, gestión inteligente de las revoluciones por minuto, aceleraciones suaves y una reducción de los tiempos en ralenti.



• Emisiones Contaminantes

El impacto ambiental es la consecuencia directa de la eficiencia térmica. Existe una relación estequiométrica e irreversible: a menor consumo de combustible, menor generación de gases de efecto invernadero y partículas. La reducción de emisiones de CO₂ validada en este estudio posiciona a la capacitación de los conductores como una estrategia de mitigación ambiental tan efectiva como la renovación tecnológica del parque automotor.



• Modos de Operación del Vehículo: El Factor Determinante

La transición de una conducción convencional a una conducción ecológica (Ecodriving) representa el cambio con mayor relación costo-beneficio para la movilidad sostenible. Mientras que la conducción convencional se caracteriza por aceleraciones bruscas y un uso ineficiente de las marchas, el modo ecológico prioriza la fluidez, la anticipación y el aprovechamiento de la inercia, transformando la dinámica del vehículo sin necesidad de modificaciones mecánicas.

Técnicas de Conducción Ecológica



1. Anticipación del flujo del tráfico

- Divisa a lo lejos la carretera, lo más lejos posible, esto con el fin de tener el tiempo necesario para realizar maniobras que no pongan en riesgo tu seguridad y de los demás.
- Aumenta tu margen de maniobra con una distancia apropiada para aprovechar el impulso.
- Una distancia de seguridad de 3 metros equivalente a unos 3 segundos respecto al coche de delante optimiza las opciones para equilibrar las fluctuaciones de velocidad en el flujo del tráfico, permitiendo una conducción constante a velocidad uniforme.
- Aprovecha al máximo el impulso (inercia) del vehículo, dejando de presionar el acelerador.



2. Mantener una velocidad constante a bajas RPM

- Conduzca suavemente a bajas revoluciones utilizando la marcha más alta posible.
- Recuerda conducir a altas velocidades o con altas RPM aumenta significativamente el consumo de combustible.
- Utilice una marcha superior a bajas revoluciones, para reducir el esfuerzo del motor, esto se realiza en pendientes, donde no se requiere mayor potencia.



3. Cambiar a una marcha superior dentro de un rango.

- Cambia a una marcha superior a aproximadamente 2.000 RPM y 2500 RPM.
- Considere la situación del tráfico, las necesidades del vehículo y seguridad.
- Esto se realiza en zonas con pendientes mínimas o nulas.



4. Inspección Mecánica y Visual del vehículo

- Mantenga los neumáticos correctamente inflados, ya que una presión baja es un riesgo para la seguridad.
- Una presión adecuada reduce el esfuerzo del motor, por ende, el consumo de combustible.
- Verifique periódicamente los niveles de fluidos que estén correctamente dentro del rango Máximo y Mínimo.
- Consulte el manual del coche.



5. Optimización de Sistemas Auxiliares

- Utilice el aire acondicionado y los sistemas eléctricos con prudencia. Si no son estrictamente necesarios para la seguridad o el confort, desactívelos.
- Gestione el uso de climatización y dispositivos electrónicos basándose en la necesidad real para maximizar la eficiencia del ciclo de trabajo.
- La energía eléctrica se genera a partir de la combustión; por lo tanto, el equipamiento eléctrico no opera de forma "gratuita". Su uso siempre impone una carga mecánica adicional al motor, traduciéndose en un consumo extra de combustible y recursos.



LA OPTIMIZACIÓN DE RUTAS Y LOS ERP



6. Planificación de Rutas

- Utiliza navegadores y aplicaciones para planificar tus trayectos.
- Evita atascos, obras o desvíos innecesarios reduce el tiempo de viaje, el consumo de combustible y las emisiones.

PENDIENTES DESCENDIENTES

Deje en una relación de marchas cortas para frenar con el motor.



7. Disminuir la Velocidad sin aplicación de freno

- La velocidad se reducirá debido al motor. Efecto de frenado mediante fricción mecánica (al engranar la marcha).
- Utiliza la marcha adecuada para una aceleración involuntaria (por ejemplo, mientras conduces cuesta abajo).



8. Evitar el ralenti prolongado

- El motor encendido sin movimiento es un consumo innecesario de combustible.
- No dejes el motor encendido si estarás detenido más de 1 a 2 minutos.
- Esto consume combustible sin necesidad, aumenta emisiones y desgasta el motor.
- Si no te estás moviendo, apaga el motor.



9. El "Pie de Pluma" en el Acelerador

- Acelera de forma suave y progresiva.
- Presiona el acelerador con delicadeza, como si tu pie fuera una pluma, para evitar picos de consumo y reducir el esfuerzo del motor.
- Es un control fino sobre la potencia del vehículo.



10. Evitar carga innecesaria.

- Evite transportar objetos pesados que no son de utilidad.
- El incremento de la masa de la masa total eleva la resistencia de la rodadura, lo que se traduce un mayor esfuerzo para el motor.
- Menor peso, mayor eficiencia en el consumo de combustible.



11. Velocidad Constante

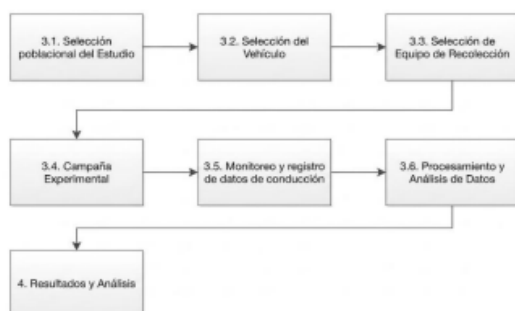
- Mantener una velocidad uniforme es la estrategia más eficaz para reducir el consumo de combustible, especialmente en trayectos de carretera o vías perimetrales.
- Se puede aplicar en entornos urbanos siempre y cuando este bajo los límites permisibles y no haya un riesgo de colisión.
- Físicamente, un vehículo requiere mucha más energía para romper la inercia (acelerar) que para mantener un movimiento ya iniciado.

Tabla de Ahorro Estimado: Impacto de la Conducción Ecológica

Técnica de Conducción	Hábito Convencional	Hábito Ecológico	Ahorro Estimado (%)	Impacto en Emisiones CO ₂ (Reducción)
Gestión de Marchas	Cambios a altas RPM (>3500)	Cambios a bajas RPM (2000-2500)	10% - 15%	Alta
Velocidad en Carretera	Conducción a 110-120 km/h	Crucero constante a 90 km/h	15% - 20%	Muy Alta
Uso del Acelerador	Aceleraciones bruscas (VSP Alta)	Aceleración progresiva (VSP Estable)	8% - 12%	Moderada
Anticipación y Frenado	Frenado tardío y brusco	Uso de freno motor e inercia	5% - 7%	Leve
Ralentí (Paradas)	Motor encendido en esperas largas	Apagado en esperas >1 min	2% - 4%	Leve
Presión de Neumáticos	Presión baja o sin revisar	Presión óptima según manual	3% - 5%	Leve

Beneficio de una Conducción Ecológica, estudio de caso: Escuela de Conducción UTN

El desarrollo de la investigación se realizó en conjunto con la Escuela de Conducción de la UTN. Por ello se planificó una serie de actividades en la conlleva actividades para la selección poblacional de estudio, selección del vehículo, entre otros. Para la investigación, se realizó en base a este marco metodológico:



El monitoreo del vehículo Chevrolet Sail 2022, la distancia recorrida y el tiempo empleado para como se muestra en la siguiente tabla, supera los 920 km de recorrido y tiempo de trabajo equivalente a 49 horas de monitoreo del vehículo.

Parámetro	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Total
Distancia recorrida (km)	354.82	397.56	174.11	926.49
Duración (min)	741.96	1451.05	752.61	2945.62

• Encuesta sobre conducción Ecológica

La realización de la encuesta permite identificar los niveles de conocimientos de reducción de consumo de combustible, emisiones y el esfuerzo del motor. En la investigación, se evaluó 9 parámetros sobre a la totalidad de la muestra seleccionada curso A, F y C.

Tema	Pregunta
1. Capacitación Previa	¿Ha recibido antes algún curso, taller o capacitación en conducción eficiente?
2. Cambio de Marcha	¿A cuántas RPM se recomienda cambiar a una marcha superior?
3. Concepto Ecodriving	¿Cuál opción describe mejor una conducción eficiente?
4. Uso de 1ra Marcha	La primera marcha debe utilizarse principalmente para:
5. Avance sin Aceleración	¿En qué situación es útil dejar que el vehículo avance sin acelerar?
6. Consumo Cero	¿Cómo se logra que el motor use “consumo cero” mientras desacelera?
7. Aire Acondicionado	El uso del aire acondicionado normalmente...
8. Acciones de Mayor Consumo	¿Qué comportamiento incrementa más el consumo de combustible?
9. Presión de Neumáticos	Un vehículo con presión baja en los neumáticos...

La efectividad de realizar una intervención educativa dentro de una institución corporativa o educativa sobre aprendizaje de conducción, en este caso dentro de una Escuela de Conducción, se puede obtener los siguientes valores porcentuales: Los resultados demuestran que la formación específica en Ecodriving no solo rectifica conceptos erróneos, sino que eleva el estándar de

conocimiento por encima de la enseñanza convencional.

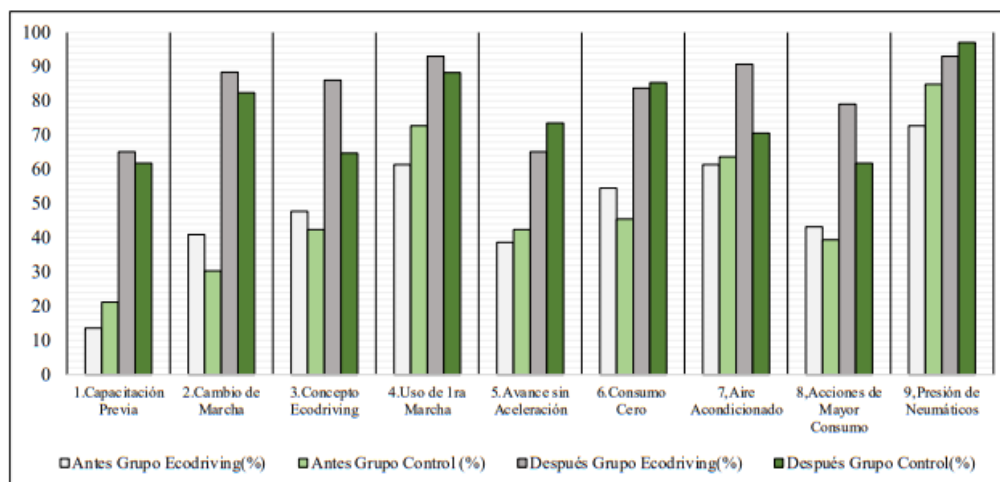
Se logró un dominio superior en conceptos críticos como el momento óptimo de cambio de marcha con un **88.37%** y el aprovechamiento del "**consumo cero**" en desaceleración con **83.72%**.

La comprensión sobre la resistencia a la rodadura (neumáticos) y el impacto de los sistemas auxiliares (aire acondicionado) alcanzó niveles de excelencia, con un **93.02%** y **90.70%** de aciertos respectivamente. El crecimiento más alto en la identificación de comportamientos ineficientes (aceleraciones y frenados bruscos), pasando de un conocimiento inicial del **43.18%** al **79.07%**.

Esto evidencia que el grupo Ecodriving superó al grupo de Control:

Grupo	Promedio General
Grupo Ecodriving	82.69%
Grupo Control	76.14%
Diferencia Neta	6.55%

Mientras que la formación convencional depende de la experiencia compartida por el instructor, el módulo de Ecodriving garantiza la asimilación de conceptos técnicos que afectan directamente al consumo y las emisiones, logrando una ventaja competitiva en el aprendizaje del **6.55%**.



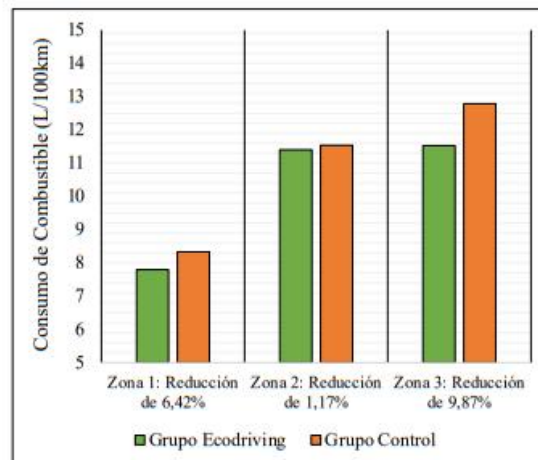
• Consumo de Combustible

La eficiencia energética en el transporte se ha centrado en mejorar la aerodinámica y la mecánica del vehículo, sin embargo, en esta investigación demuestran que el factor humano es determinante. Al instruir a los estudiantes sobre una Conducción Ecológica, el desempeño durante las prácticas, en el vehículo de instrucción (Chevrolet Sail 1.5L 2022), se observa una correlación directa en la tasa de consumo.



Los datos obtenidos en la fase de prueba revelan Grupo Ecológico, mediante la implementación de estrategias de anticipación y cambios de marchas optimizados se logra una reducción medible en el consumo de combustible. La investigación realizada en vehículos livianos en la ciudad de Ibarra, aplicando las técnicas de Conducción Ecológica se obtuvo los siguientes resultados:

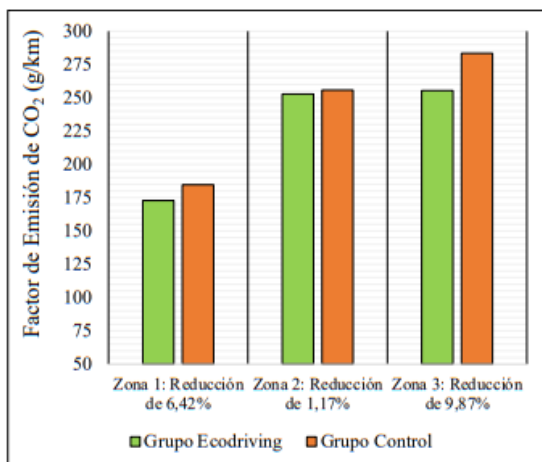
- **Zona 1:** Ibarra Norte, 13 km de recorrido.
- **Zona 2:** Centro Sur, 12.5 km de recorrido.
- **Zona 3:** Ibarra Centro 9.6 km de recorrido.



Los resultados obtenidos demuestran el consumo medido en litros cada 100 kilómetros. Para la Zona 1 se logra la reducción del **0.5 L/100km** lo que se traduce en un ahorro de combustible del **6.42%**. Por otra parte, en la Zona 2 el ahorro es del **1.17%** puesto que se logra una reducción del **0.13 L/100km**. Finalmente la Zona 3, la que se obtuvo un ahorro en el consumo de combustible superior a las demás zonas, con una reducción del **1.26 L/100km** y un ahorro del **9.87%** en el combustible. En promedio general se obtuvo el **5.82%** de reducción de consumo de combustible. Este desempeño ratifica que el cambio de hábitos de conducción impacta directamente en el consumo. De igual forma genera un impacto en el conductor, quienes son un factor determinante durante la conducción en condiciones de tráfico real.

• Emisiones de CO₂

Por otra parte, la reducción de emisiones de CO₂ está directamente ligada al consumo, como se muestra en la gráfica los gramos de CO₂ que se emite por cada kilómetro recorrido.



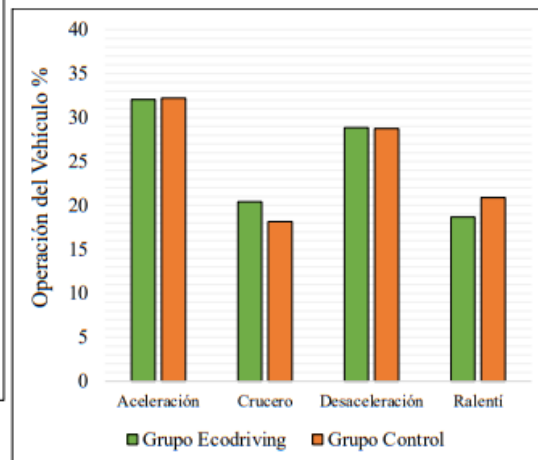
Las emisiones generadas se ven ligadas al consumo, por la combustión, la que libera CO₂ y gases que son nocivos para el medio ambiente.

En promedio general se obtuvo el **5.82%** de reducción de emisiones de CO₂.

Estos valores de Factor de Emisión son estimaciones, que, comparados con otros trabajos del mismo tipo de investigación, tiene la misma correlación y tomando en cuenta la tecnología del vehículo de prueba.

• Modos de Operación del Vehículo

No obstante, el consumo, las emisiones y la demanda de potencia se puede entender de mejor manera por los modos de Operación del vehículo, donde se puede observar el porcentaje del tiempo de cada modo, si el conductor está acelerando, mantuvo la velocidad constante o está detenido.



Como se observa el grupo Ecológico, en general, mantuvo constante la aplicación de las técnicas de Conducción Ecológica. El modo Crucero, el cual presenta un incremento de un **2.26%** en comparación con el grupo de Control. Las aceleraciones y desaceleraciones, aunque la diferencia es mínima, se sugiere que son menos agresivas y más controladas, con el análisis hecho anteriormente del VSP medio y además determinando transitaron por el mismo trayecto con las distancias y tráfico. Para el modo Ralentí, el grupo Ecodriving el tiempo logra reducir su permanencia en un **2.21%** a comparación del grupo Control, el aumento del tiempo de detenciones hace que el consumo y las emisiones sean mayores.

Conclusión

- La conducción ecológica convierte cada trayecto en una oportunidad para ahorrar combustible, reducir emisiones y prolongar la vida útil del vehículo. Aplicar estas técnicas no requiere cambios drásticos, sino una atención constante al entorno y a los hábitos de manejo. Con pequeños ajustes, el impacto acumulado es significativo para el conductor, la economía y el ambiente.
- La implementación de técnicas de conducción ecológica (Ecodriving) ha demostrado ser una estrategia altamente efectiva para optimizar el rendimiento de combustible en vehículos livianos. Evidencia que la modificación consciente de hábitos de conducción como la anticipación, la suavidad en las aceleraciones y el control de RPM que se traduce en un ahorro significativo de combustible.
- El factor humano es importante en el cambio ecológico en el medio ambiente, dependiendo del estilo de manejo que utilice en la vida cotidiana, se puede lograr un desempeño óptimo del motor, alargando la vida útil de sus componentes internos y externos. El conductor eficiente busca una conducción moderada, asegurando su integridad física y de los demás.
- La necesidad de integrar la capacitación técnica en eficiencia vehicular como parte fundamental en las escuelas de conducción. Una intervención formativa enfocada en la dinámica del vehículo y los principios de sostenibilidad logra transformar significativamente el perfil de conducción. Los conductores capacitados no solo alcanzan beneficios económicos individuales a través del ahorro de combustible, sino que contribuyen activamente a la reducción de la huella de carbono individual y promueven una movilidad más segura y respetuosa con el medio ambiente.
- El mantenimiento preventivo y correctivo asegura un buen funcionamiento del motor, se debe realizarlos de acuerdo con los manuales en las casas comerciales del vehículo o talleres especializados en vehículos de la marca en específico.

- Las técnicas mencionadas en este manual se pueden aplicar en zonas con menos ascensos ya que se puede lograr el mayor ahorro en combustible y una reducción significativa en emisiones. En Ecuador hay zonas de mayor variabilidad topográfica que, aunque se limitan ciertas técnicas, aún siguen siendo viable para el ahorro.
- Se recomienda a las Instituciones de formación vial, Centros de Capacitación Automotriz, Empresas de Transporte y Entidades Públicas integren módulos de Conducción Ecológica en sus currículos educativos. La evidencia técnica de esta investigación muestra que el factor humano es la variable de mayor incidencia en la eficiencia energética, por lo tanto, instrucción de las técnicas de Conducción Ecológica son claves para reducir el impacto ambiental desde la formación de conductores profesionales y no profesionales.
- Finalmente, se sugiere la adopción de tecnologías de telemetría para flotas, basados en datos de variables de operación del motor y el análisis de los mismo, para identificar patrones de conducción en tiempo real, facilitando la toma de decisiones para reducir costos operativos por consumo excesivo y mantenimiento correctivo.



MANUAL DE CONDUCCIÓN
ECOLÓGICA



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Diego Fernando Pérez Valverde, «Determinación del rendimiento de combustible de una flota de taxis de 1600 cm³ en la ciudad de Cuenca aplicando técnicas de Ecodriving», Maestría, UNIVERSIDAD DEL AZUAY, CUENCA, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10046>
- [2] J. S. Espinoza Cuadrado, D. Pantoja Villacís, C. Castro Herrera, J. Sangovalin Chiluisa, y J. Villamarin Molina, «Consumo de combustible frente a la eco conducción y tráfico en una ruta mixta en la ciudad de Quito», *Rev. Científica Tecnológica UPSE*, vol. 9, n.º 2, pp. 85-96, dic. 2022, doi: 10.26423/rctu.v9i2.708.
- [3] Z. Yang, Z. Zheng, J. Kim, y H. Rakha, «Eco-driving strategies using reinforcement learning for mixed traffic in the vicinity of signalized intersections», *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 165, p. 104683, ago. 2024, doi: 10.1016/j.trc.2024.104683.
- [4] A. S. M. Bakibillah, M. A. S. Kamal, C. P. Tan, T. Hayakawa, y J. Imura, «Optimal eco-driving scheme for reducing energy consumption and carbon emissions on curved roads», *Heliyon*, vol. 10, n.º 1, p. e23586, ene. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e23586.
- [5] Y. Yu y X. Qu, «Development of parametric eco-driving models for fuel savings: A novel parameter calibration approach», *Int. J. Transp. Sci. Technol.*, vol. 11, n.º 2, pp. 268-282, jun. 2022, doi: 10.1016/j.ijst.2021.04.004.
- [6] Uwe Tietge, Peter Mock, y Jan Dornoff, «CO₂ emissions from new passenger cars in Europe: Car manufacturers' performance in 2023». International Council on Clean Transportation, septiembre de 2024.
- [7] Apóstol Petropoulos, «Automóviles y furgonetas», International Energy Agency. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/energy-system/transport/cars-and-vans#programmes>
- [8] KYLE MORRISON *et al.*, «Cleaning up Germany's vehicle stock Strategies to decarbonize the passenger car fleet». International Council on Clean Transportation, octubre de 2024.
- [9] Javier Fontalvo Díaz, Paola Ramírez Peñaherrera, Jessica Constante Argüello, Juan Fonseca Palacios, y Carlos Cruz Salazar, «BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL». Ministerio de Energía y Minas, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/08/BEN_2023-cap_1.pdf
- [10] T. Stillwater y K. S. Kurani, «Drivers discuss ecodriving feedback: Goal setting, framing, and anchoring motivate new behaviors», *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 19, pp. 85-96, jul. 2013, doi: 10.1016/j.trf.2013.03.007.
- [11] Organización Mundial de la Salud, «7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica», Organización Mundial de la Salud. [En línea]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution>
- [12] E. A. LLanes Cedeño, J. C. Leguísamo Milla, A. F. Artieda Cadena, y W. A. Ortega-Carrillo, «Reducción del consumo de combustible de un motor a diésel aplicando Ecodriving en Quito-Ecuador», *Rev. Científica Arbitr. Multidiscip. PENTACIENCIAS*, vol. 4, n.º 2, pp. 340-350, jun. 2022.
- [13] K. Calvin *et al.*, «IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.», Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), jul. 2023. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

- [14] «El impacto ambiental de la producción de coches de gasolina», CLEANMOVE. [En línea]. Disponible en: <https://www.thecleanmove.es/articulo.php?articulo=El+impacto+ambiental+de+la+producci%C3%B3n+de+coches+de+gasolina#:~:text=Los%20coches%20de%20gasolina%20emit en,y%20contribuir%20al%20cambio%20clim%C3%A1tico.>
- [15] A. Calatayud, M. E. Rivas, J. Camacho, C. Beltrán, M. Ansaldo, y E. Café, «Transporte 2050: el camino hacia la descarbonización y la resiliencia climática en América Latina y el Caribe», Banco Interamericano de Desarrollo, oct. 2023. doi: 10.18235/0005196.
- [16] Z. Abdullah, A. R. Keeley, T. Y. Coulibaly, y S. Managi, «The impact of fuel cell vehicles deployment on road transport greenhouse gas emissions through 2050: Evidence from 15 G20 countries», *J. Environ. Manage.*, vol. 370, p. 122660, nov. 2024, doi: 10.1016/j.jenvman.2024.122660.
- [17] N. Liao, F. Lü, H. Zhang, y P. He, «Optimizing the greenhouse gas emissions of waste transfer and transport: An integration of life cycle assessment and vehicle routing problem», *Waste Manag.*, vol. 189, pp. 314-324, dic. 2024, doi: 10.1016/j.wasman.2024.08.034.
- [18] Tomás de Oliveira Bredariol, «Las emisiones de metano del sector energético mundial aumentaron a casi 135 Mt en 2022», International Energy Agency. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels/methane-abatement>
- [19] C. Chen, X. Zhao, Y. Yao, Y. Zhang, J. Rong, y X. Liu, «Driver's Eco-Driving Behavior Evaluation Modeling Based on Driving Events», *J. Adv. Transp.*, vol. 2018, pp. 1-12, 2018, doi: 10.1155/2018/9530470.
- [20] S. Kohli, T. Khan, Z. Yang, y J. Miller, «Zero-emission vehicle deployment: Latin America», abr. 2022, [En línea]. Disponible en: <https://theicct.org/publication/hvs-zev-deploy-latam-apr22/>
- [21] S. Pettigrew, «Estándares de eficiencia energética y objetivos de los vehículos cero emisiones en Chile», *Int. Counc. Clean Transp.*, ago. 2022, [En línea]. Disponible en: www.theicct.org
- [22] J. Caban, «The investigation of eco-driving possibilities in passenger car used in urban traffic», *Transp. Res. Procedia*, vol. 55, pp. 212-219, 2021, doi: 10.1016/j.trpro.2021.06.024.
- [23] GEOTAB, «Guía rápida para manejar de forma ecológica y ahorrar combustible para su flota», GEOTAB. [En línea]. Disponible en: <https://www.geotab.com/es-latam/blog/ocho-consejos-conduccion-ecologica-ahorrar-combustible-flota/>
- [24] F. Mensing, E. Bideaux, R. Trigui, J. Ribet, y B. Jeanneret, «Eco-driving: An economic or ecologic driving style?», *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 38, pp. 110-121, ene. 2014, doi: 10.1016/j.trc.2013.10.013.
- [25] LETICIA PINEDA y YIHAO XIE, «PROGRAMAS DE ECO-CONDUCCIÓN (ECO-DRIVING) DE CAMIONES». International Council on Clean Transportation, junio de 2021. [En línea]. Disponible en: www.theicct.org
- [26] Y. Hu *et al.*, «Eco-driving of connected autonomous vehicles in urban traffic networks of mixed autonomy with cut-in and escape lane-changes of manually-driven vehicles», *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 169, p. 104889, dic. 2024, doi: 10.1016/j.trc.2024.104889.
- [27] J. N. Barkenbus, «Eco-driving: An overlooked climate change initiative», *Energy Policy*, vol. 38, n.º 2, pp. 762-769, feb. 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2009.10.021.
- [28] J. Caban, J. Vrabel, B. Šarkan, y P. Ignaciuk, «About eco-driving, genesis, challenges and benefits, application possibilities», *Transp. Res. Procedia*, vol. 40, pp. 1281-1288, 2019, doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.178.

- [29] E. W. Martin, N. D. Chan, y S. A. Shaheen, «How Public Education on Ecodriving Can Reduce Both Fuel Use and Greenhouse Gas Emissions», *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2287, n.º 1, pp. 163-173, ene. 2012, doi: 10.3141/2287-20.
- [30] N. Xu, X. Li, Q. Liu, y D. Zhao, «An Overview of Eco-Driving Theory, Capability Evaluation, and Training Applications», *Sensors*, vol. 21, n.º 19, p. 6547, sep. 2021, doi: 10.3390/s21196547.
- [31] Juan Antonio Andrino Cebrián, «Mecánica y entretenimiento simple del automóvil», *Dir. Gen. Tráfico*, p. 125, 2016.
- [32] «Automóvil», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 19 de mayo de 2026. Accedido: 20 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Autom%C3%B3vil&oldid=173536851>
- [33] P. Freund, S. Bachu, D. Simbeck, y M. Gupta, «Properties of CO₂ and carbon-based fuels», *International*, pp. 385-400.
- [34] Y. Huang, E. C. Y. Ng, J. L. Zhou, N. C. Surawski, E. F. C. Chan, y G. Hong, «Eco-driving technology for sustainable road transport: A review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 93, pp. 596-609, oct. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.05.030.
- [35] IEA, «World Energy Outlook 2024», International Energy Agency. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>
- [36] PETROECUADOR, «PRECIOS DE VENTA EN TERMINAL PARA LAS COMERCIALIZADORAS SECTOR AÉREO SECTORES PESQUERO Y ATUNERO SECTOR AUTOMOTRIZ CALIFICADAS Y AUTORIZADAS A NIVEL NACIONAL», 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/2025/10/ESTRUCTURA-DE-PRECIOS-OCTUBRE-2025.pdf>
- [37] Hugo Oswaldo Barros Bermeo y Darwin William Moran Castro, «Reparacion de un Motor de Combustión Interna 1.3 Fire», Trabajo de Grado, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Guayaquil, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/29503/1/Tesina%20de%20Graduacion%20-%20PROTMEC.pdf>
- [38] Bison, «Motor diésel pequeño vs motor de gasolina pequeño», BISON Machinery. [En línea]. Disponible en: <https://es.bison-machinery.com/blog/small-diesel-engine-vs-small-gasoline-engine.html>
- [39] Leonidas Ntziachristos y Zissis Samaras, «1.A.3.bi-iv Transporte por carretera 2019». Agencia Europea de Medio Ambiente, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/view>
- [40] C. Gao, J. Xu, M. Jia, y Z. Sun, «Correlation between carbon emissions, fuel consumption of vehicles and speed limit on expressway», *J. Traffic Transp. Eng. Engl. Ed.*, vol. 11, n.º 4, pp. 631-642, ago. 2024, doi: 10.1016/j.jtte.2023.02.007.
- [41] G. Fontaras, N.-G. Zacharof, y B. Ciuffo, «Fuel consumption and CO₂ emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions», *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 60, pp. 97-131, may 2017, doi: 10.1016/j.pecs.2016.12.004.
- [42] Instituto de Investigación Geológico y Energético - IIGE, «BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL 2019». 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/12/balance_energetico_nacional_2019.pdf

- [43] Grupo Consultivo de Expertos (GCE), «MANUAL DEL SECTOR DE LA ENERGÍA Quema de Combustibles». febrero de 2018. [En línea]. Disponible en: <https://unfccc.int/sites/default/files/7-bis-handbook-on-energy-sector-fuel-combustion.pdf>
- [44] Z. Xu, T. Jiang, y N. Zheng, «Developing and analyzing eco-driving strategies for on-road emission reduction in urban transport systems - A VR-enabled digital-twin approach», *Chemosphere*, vol. 305, p. 135372, oct. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.135372.
- [45] Servicio Ecuatoriano de Normalización, «NTE 2204-2017: GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES QUE EMPLEAN GASOLINA». Quito, 2017.
- [46] «Influencia de la densidad del aire en el consumo de combustible en vehículos livianos.», *NOVASINERGIA Rev. Digit. Cienc. Ing. Tecnol.*, vol. 4, n.º 2, pp. 140-151, dic. 2021, doi: 10.37135/ns.01.08.09.
- [47] Carlos Paul Tapia Zambrano, José Vinicio Tigre Saltos, y Diego Francisco Torres Moscoso, «Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción Epa Ftp75 y Epa Hwfet, en dinamómetro de chasis. Casos de estudio: vehículos Hyundai Santa Fe 2.7L, V6, 2009 y Chery QAC 1.0L, 2017», bachelorThesis, Universidad del Azuay, Cuenca, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7373>
- [48] Cesar Adrián Barriga Galarza y Freddy Remigio Verdugo Vanegas, «Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción epa ftp75 y epa hwfet, en dinamómetro de chasis. Casos de estudio: vehículos Renault Logan 1.6L, 2008 y Renault Logan 1.4L, 2011», bachelorThesis, Universidad del Azuay, Cuenca, 2017. Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7368>
- [49] W. Owczarzak, «Optimization of oscillatory method parameters for accurate estimation of rolling resistance», *Measurement*, vol. 256, p. 118271, dic. 2025, doi: 10.1016/j.measurement.2025.118271.
- [50] Francisco Aparicio, Vicente Díaz, y Carlos Vera, *TEORÍA DE LOS VEHÍCULOS AUTOMÓVILES*, 2da Edición. en Ingeniería Mecánica y de Fabricación. Madrid: DEXTRA. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.utn.edu.ec/files/original/b5369aad16ddd66a1ca9cfd7488a910a104fb72c.pdf>
- [51] Antonio Perez, «Resistencia a la Rodadura», Mecapedia. [En línea]. Disponible en: https://www.mecapedia.uji.es/pages/resistencia_a_la_rodadura.html
- [52] Paul Andres Guilcatanda Tacuri y Marcelo Javier Zambrano Zambrano, «ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AERODINÁMICO DE LA CARROCERÍA DE UN BUS CATEGORÍA M3 (INTERPROVINCIAL)», Trabajo de Grado, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA, Cuenca, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18381/1/UPS-CT008691.pdf>
- [53] PABLO ANDRÉS MARCILLO MOYA, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DEFLECTOR ROMPEVIENTOS PARA IMPLEMETAR EN UN CAMION MERCEDES-BENZ MODELO ATEGO 1725 PARA EL ANALISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE», Trabajo de Grado, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/4f1b71fe-d8c4-4bb8-a531-dcb3fd2891f2/content>

- [54] Susana Caridad Vélez Loaiza y Andrés Vicente Vera Vanegas, «Obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda de los vehículos eléctricos», Trabajo de Grado, UNIVERSIDAD DEL AZUAY, Cuenca, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5739/1/12059.pdf>
- [55] Cueva del Ingeniero Civil, «El movimiento de un vehículo», Cueva del Ingeniero Civil. [En línea]. Disponible en: <https://www.cuevadelcivil.com/2011/05/el-movimiento-de-un-vehiculo.html>
- [56] Jacob Alberto Escobar Villanueva, «Resistencias al avance y distribución de peso.», Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato - Instituto Politécnico Nacional (UPIIG-IPN), Guanajuato, Reporte académico, ago. 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/8644773/Resistencias_al_avance_y_distribuci%C3%B3n_de_peso
- [57] Cristian Xavier Perez Zhagui y Milton Geovany Pacho Guaman, «DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN PROTOTIPO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TRACCIÓN PARA UNA CHEVROLET LUV 2.2», Trabajo de Grado, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA, Cuenca, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6116/1/UPS-CT001670.pdf>
- [58] MARCO ANDRÉS CARRERA LOVATO, «IDENTIFICACIÓN DE PAR MOTOR Y POTENCIA EN UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO EN FUNCIÓN DEL SISTEMA DE ESCAPE», Trabajo de Grado, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, Ibarra, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9575>
- [59] «Engine power», Wikipedia. [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Engine_power#Definition
- [60] C. E. M. Ramos, «DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA Y EL TORQUE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA MEDIANTE LA TÉCNICA DE LA ACELERACIÓN», Trabajo de Grado, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga, 2004. [En línea]. Disponible en: <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/72f63f10-e7c5-44da-b356-734afd230eba/content>
- [61] M. Y. R. Morales y L. G. S. Vela, «Análisis de las características y capacidad de diseño de los vehículos de carga considerando la potencia y torque del motor del vehículo», *No 412*, p. 71, 2014.
- [62] A. M. Requena, «Introducción a CAN bus: Descripción, ejemplos y aplicaciones de tiempo real», UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, Madrid, 2017. [En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/48054/8/TFM_ADRIAN_MARTINEZ_REQUENA.pdf
- [63] Jaime Luis Monsalvo Perez, «CONTROL INTELIGENTE PARA LA PROTECCIÓN DE VEHÍCULOS CON SISTEMAS DE MONITOREO MOVIL», Universidad Privada Dr. Rafael Bellosillo Chacín, Maracaibo, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0100425/>
- [64] García Pérez, Eric y Fuentes Arroyo, Jaime, «Diseño e implementación de un sistema OBD-Radar para automóviles», Proyecto Final de Máster Oficial, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/76467>
- [65] VW Volkswagen, «Manual sobre el diseño y funcionamiento del sistema de diagnóstico OBD II del Volkswagen New Beetle.» 03/99.
- [66] Pedro González Melis, «Manual del Sistema de Diagnóstico a Bordo OBD II - Funciones e Información». 23 de mayo de 2008. [En línea]. Disponible en:

- <https://www.mecanicoautomotriz.org/1644-manual-sistema-diagnostico-bordo-obd-ii-funciones-informacion>
- [67] «OBD-II PID», Wikipedia. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/OBD-II_PID
- [68] Chevrolet, «Ficha Técnica Sail 2021». 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.chevrolet.com.ec/content/dam/chevrolet/south-america/ecuador/espanol/index/technical-sheets/02-pdfs/ficha-tecnica-sail-2021.pdf>
- [69] Carly, «ELM327: escáner OBD2 en comparación», Carly. [En línea]. Disponible en: <https://www.mycarly.com/es/blog/obd/elm327-escaner-obd2-en-comparacion/>
- [70] Benavides Lima, Kevin Felipe y Montenegro Nagua, Francisco Ignacio, «Análisis de los parámetros de funcionamiento de un motor MPI variando las características de filtrado y tipo de gasolina para mejorar el rendimiento de consumo de combustible mediante ciclo de emisiones reales RDE en la ciudad de Quito-Ecuador», Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24250>
- [71] H. Zhai, H. C. Frey, y N. M. Roupail, «A Vehicle-Specific Power Approach to Speed- and Facility-Specific Emissions Estimates for Diesel Transit Buses», *Environ. Sci. Technol.*, vol. 42, n.º 21, pp. 7985-7991, nov. 2008, doi: 10.1021/es800208d.
- [72] Jose Luis Jimenez-Palacios, «Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing», *Mass. Inst. Technol.*, jul. 1999, [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1721.1/44505>